



TUGAS AKHIR - RE 141581

**TEKNOLOGI REDUKSI SAMPAH DENGAN
MEMANFAATKAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY*
(BSF) DI KAWASAN PASAR PUSPA AGRO
SIDOARJO**

TIFANI ROSA MAHARDIKA
3312100078

DOSEN PEMBIMBING
Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RE 141581

**SOLID WASTE REDUCTION TECHNOLOGY USING
BLACK SOLDIER FLY (BSF) LARVAE ON PUSPA
AGRO MARKET SIDOARJO**

TIFANI ROSA MAHARDIKA
3312100078

SUPERVISOR
Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

Teknologi Reduksi Sampah dengan Memanfaatkan Larva *Black Soldier Fly (BSF)* di Kawasan Pasar Puspa Agro Sidoarjo

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TIFANI ROSA MAHARDIKA
NRP. 3312100078

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19820804 200501 1 001



TEKNOLOGI REDUKSI SAMPAH DENGAN MEMANFAATKAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY* (BSF) DI KAWASAN PASAR PUSPA AGRO SIDOARJO

Nama Mahasiswa : Tifani Rosa Mahardika
NRP : 3312100078
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil.,
Ph.D.

ABSTRAK

Teknologi pengolahan sampah dengan *Black Soldier Fly* (BSF) adalah teknologi reduksi sampah oleh larva dari spesies *Hermetia illucens*. Banyak negara yang sudah menerapkan teknologi ini sebagai alternatif reduksi sampah di negaranya, salah satunya di Indonesia khususnya di Pasar Puspa Agro. Pasar Puspa Agro, Sidoarjo telah menerapkan teknologi reduksi sampah pasar yang dihasilkan dengan menggunakan larva BSF. Sampah pasar yang diolah untuk saat ini hanya sampah yang dihasilkan dari blok buah meliputi buah pepaya dan semangka. Sampah yang digunakan sebagai makanan larva di Puspa Agro melebihi batas kadar air optimum larva. Kadar air yang tinggi mengakibatkan tingkat reduksi sampah dan pertumbuhan larva yang masih rendah. Penelitian dalam skala laboratorium dilakukan untuk mendapatkan campuran komposisi yang menghasilkan tingkat reduksi dan pertumbuhan larva terbesar.

Penelitian ini menggunakan 2 jenis variabel penelitian yakni jenis campuran sampah dan rasio komposisi sampah. Jenis campuran yang digunakan: (i) sampah buah dengan penambahan sisa makanan dan (ii) sampah buah dengan penambahan kotoran ayam. Variasi rasio komposisi yang digunakan antara sampah buah dan material tambahan sebesar 90:10, 80:20, dan 70:30. Dari kedua jenis campuran, didapat hasil reduksi dan penambahan berat larva terbesar untuk diaplikasikan dalam skala pilot.

Reduksi tertinggi pada skala laboratorium berada pada campuran sampah buah dan sisa makanan dengan komposisi 70:30 sedangkan pada campuran sampah buah dan kotoran ayam pada komposisi 80:20. Persentase reduksi sisa makanan 70:30 mencapai 82,87% dan reduksi kotoran ayam 80:20 mencapai 62,13%. Kandungan protein dari larva pada campuran sisa makanan 70:30 sebesar 41,49% dan pada campuran kotoran ayam 80:20 sebesar 34,15%. Komposisi campuran sisa makanan yang memiliki persentase reduksi terbesar diterapkan dalam skala pilot yang terdiri dari 2 tahapan. Tahap pertama digunakan 2 replikasi dengan sampah dikondisikan sama seperti skala laboratorium sedangkan tahap kedua disesuaikan dengan kondisi lapangan. Persentase reduksi pada skala pilot tahap pertama sebesar 48,14% dan pada skala pilot tahap kedua sebesar 57,29%. Kandungan protein larva pada skala pilot tahap pertama sebesar 32,76% dan pada skala pilot tahap kedua sebesar 42,64%.

Kata kunci : komposting, larva BSF, protein larva, rasio C/N, reduksi sampah, sampah buah

SOLID WASTE REDUCTION TECHNOLOGY USING BLACK SOLDIER FLY (BSF) LARVAE ON PUSPA AGRO MARKET SIDOARJO

Name of Student : Tifani Rosa Mahardika
Student IP : 3312100078
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

ABSTRACT

Organic solid waste conversion to protein is an alternative of solid waste treatments which can be performed by utilising Black Soldier Fly (BSF) larvae as *Hermetia illucens* species. This method is applicable to treat organic solid waste that has less contamination from other anorganic wastes, i.e., waste generated from centralised market place. However, the waste which dominantly includes fruit waste (e.g., papaya, watermelon, etc.), has higher water content. This decreases the capability of BSF to reduce the organic solid waste as well as the growth of BSF larvae. Therefore, it requires a method to obtain efficient reduction of organic solid waste by BSF larvae.

This research evaluates the mixture of food waste or chicken manure with the fruit waste in a laboratory scale experiment (i.e., 5 larvae cm⁻² for each reactor) to increase the percentage of waste reduction and the growth rate of the larvae. Protein content of BSF larvae as a result of solid waste conversion was also determined. Both mixtures were varied in three composition ratio of fruit waste and food waste or chicken manure, i.e., 90:10; 80:20 and 70:30. The feeding time used in this research was once a day with 40 mg of waste for each larva. From both types of mixture, obtained the highest reduction and accretion of larvae for applied in the pilot scale.

The results show that mixture of fruit waste and food waste with composition ratio of 70:30 and mixture of fruit waste and chicken manure with composition ratio of 80:20 obtained the

highest percentage of waste reduction, with the percentage reduction of 82,87% and 62,13%, respectively. In addition, protein content of larvae on food waste mixture 70:30 was 41,49% and chicken manure mixture was 34.15%. Food waste mixture which has large reduction percentage, applied in the pilot scale that has 2 stage. First stage has same condition as laboratory stage and the second stage is conditioned same as field condition. Percentage reduction on first stage pilot scale reached 48,14% and second stage pilot scale reached 57,29%. Protein content of larvae on first stage pilot scale reached 32,76% and on second stage pilot scale reached 42,64%.

Keyword(s) : composting, BSF larvae, larva's protein, C/N ratio, waste reduction, fruit waste

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Sampah.....	5
2.2 Teknologi Komposting	9
2.3 Kotoran Ayam	10
2.4 Black Soldier Fly (BSF).....	11
2.4.1. Klasifikasi.....	11
2.4.2. Daur Hidup	12
2.4.3. Kandungan Larva <i>Black Soldier Fly</i> (BSF)	14
2.5 Reduksi Sampah dengan Larva <i>Black Soldier Fly</i>	15
2.6 Penelitian Terdahulu	17
BAB III.....	21
METODE PENELITIAN	21
3.1 Gambaran Umum Penelitian	21
3.2 Tahapan Penelitian	21
3.3 Persiapan Penelitian	24
3.4 Pelaksanaan Penelitian	26
3.4.1 Survei Pendahuluan	26
3.4.2 Pemiakan Larva BSF.....	27
3.4.3 Pengumpulan Sampel Sampah.....	28
3.4.4 Pengukuran Berat Kering dan Analisis Kebutuhan Sampel.....	28
3.4.5 Teknologi Komposting dengan Larva BSF.....	36

3.5	Pengumpulan Data	37
3.6	Analisis Data dan Pembahasan.....	40
3.7	Kesimpulan dan Saran	41
BAB IV		43
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4. 1	Persiapan Sampel Sampah	43
4. 2	Penelitian Pendahuluan.....	43
4. 2.1	Pengukuran Kadar Air Sampel Sampah	44
4. 2.2	Pengukuran pH Awal Sampel Sampah	44
4. 2.3	Pengukuran Rasio C/N Awal Sampel Sampah	45
4. 3	Hasil Analisis Penelitian Skala Laboratorium	46
4.3.1	Suhu dan pH Sampah	46
4.3.2	Kadar Air Sampah	49
4.3.3	Rasio C/N	50
4.3.4	Persentase Reduksi Sampah	52
4.3.5	Penambahan Berat Larva.....	56
4.3.6	Kandungan protein Larva	61
4.3.7	Analisis Statistik.....	62
4. 4	Hasil Analisis Penelitian Skala Pilot Tahap I	63
4.5.1.	Suhu dan pH Sampah	63
4.5.2.	Kadar Air Sampah	65
4.5.3.	Rasio C/N	66
4.5.4.	Persentase Reduksi Sampah	67
4.5.5.	Penambahan Berat Larva.....	69
4.5.6.	Kandungan protein Larva	71
4. 5	Hasil Analisis Penelitian Skala Pilot Tahap II	72
4.5.1.	Suhu dan pH Sampah	72
4.5.2.	Kadar Air Sampah	74
4.5.3.	Rasio C/N	75
4.5.4.	Persentase Reduksi Sampah	76
4.5.5.	Penambahan Berat Larva.....	78
4.5.6.	Kandungan protein Larva	81
4. 6	Aplikasi dalam Skala Rumah Tangga dan Komunal	82
BAB V		87
KESIMPULAN DAN SARAN		87
5. 1	Kesimpulan	87
5. 2	Saran	87
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN A.....		93

LAMPIRAN B	91
LAMPIRAN C	109
BIOGRAFI PENULIS	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lalat <i>Black Soldier</i> Dewasa	11
Gambar 2.2	Tampak Samping <i>Black Soldier Fly</i>	12
Gambar 2.3	Punggung (kiri) dan Perut (kanan) Larva BSF	14
Gambar 2.4	Pupa <i>Black Soldier Fly</i> , <i>H. illucens</i> (Linnaeus)	14
Gambar 3.1	Kerangka Tahapan Penelitian	23
Gambar 3.2	Reaktor Pembiakan Larva Skala Laboratorium (diameter 7 cm)	25
Gambar 3.3	Reaktor Pembiakan Larva Skala Pilot Tahap I (60 x 40 x 40 cm)	25
Gambar 3.4	Susunan Reaktor Pembiakan Larva Skala Pilot Tahap II	26
Gambar 4.1	Sampel Sampah yang Digunakan: (a) Sampah Buah; (b) Kotoran Ayam; (c) Sisa Makanan	43
Gambar 4.2	Penempatan Reaktor Penelitian	46
Gambar 4.3	Grafik Hasil Pengukuran Suhu	47
Gambar 4.4	Hasil Pengukuran Derajat Keasaman pH Campuran Sisa Makanan	48
Gambar 4.5	Hasil Pengukuran Derajat Keasaman pH Campuran Kotoran Ayam	48
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan C/N Awal dan Akhir	51
Gambar 4.7	Berat Residu Sampah pada Reaktor	52
Gambar 4.8	Grafik Presentase Keseimbangan Massa Komposisi Sampah Buah dan Sisa Makanan	54
Gambar 4.9	Grafik Presentase Keseimbangan Massa Komposisi Sampah Buah dan Kotoran Ayam	55
Gambar 4.10	Pengukuran Berat Larva; (a) Penimbangan pada Neraca Analitis; (b) Pengeringan di Atas Kertas Tisu	56
Gambar 4.11	Grafik Penambahan Berat Larva	58
Gambar 4.12	Peletakkan Reaktor Penelitian Skala Pilot Tahap I..	63
Gambar 4.13	Grafik Pengukuran Kadar Air Sampah Reaktor Pilot Tahap I	65
Gambar 4.14	Grafik Pengukuran Kadar Air untuk <i>Feeding</i> pada Skala Pilot Tahap I	66
Gambar 4.15	Berat Residu dan Larva Hasil Pemanenan Reaktor Skala Pilot Tahap I	67

Gambar 4.16	Grafik Persentase Keseimbangan Massa Skala Pilot Tahap I	68
Gambar 4.17	Grafik Pengukuran Kadar Air Larva Reaktor Pilot Tahap I	69
Gambar 4.18	Grafik Penambahan Berat Larva Reaktor Pilot Tahap I	70
Gambar 4.19	Gambaran Reaktor Skala Pilot Tahap II	72
Gambar 4.20	Grafik Pengukuran Suhu Reaktor Pilot Tahap II ..	73
Gambar 4.21	Grafik Pengukuran pH Reaktor Pilot Tahap II	73
Gambar 4.22	Grafik <i>Trend</i> Pengukuran Kadar Air Sampah Pilot Tahap II	74
Gambar 4.23	Grafik Pengukuran Kadar Air untuk <i>Feeding</i> pada Pilot Tahap II	75
Gambar 4.24	Data Berat Residu dan Larva Hasil Pemanenan Seluruh Reaktor Skala Pilot Tahap II	76
Gambar 4.25	Grafik Persentase Keseimbangan Massa Skala Pilot Tahap II	78
Gambar 4.26	Grafik Pengukuran Kadar Air Larva pada Pilot Tahap II	79
Gambar 4.27	Grafik <i>Trend</i> Penambahan Berat Larva pada Pilot Tahap II	79
Gambar 4.28	Sketsa Tempat Pengembangbiakan Lalat BSF ...	83
Gambar 4.29	Sketsa Reaktor Untuk Skala Rumah Tangga	84
Gambar 4.30	Sketsa Reaktor Untuk Skala Komunal	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipikal Kandungan Energi Sampah Organik	7
Tabel 2.2	Kandungan Unsur Hara Kotoran Ayam	10
Tabel 2.3	Kandungan Nutrisi Feses Ayam Petelur	11
Tabel 2.4	Kandungan Asam Amino Tubuh Larva BSF	15
Tabel 2.5	Kandungan Mineral dan Analisis Proksimat pada Tubuh Larva BSF	15
Tabel 3.1	Jenis Perlakuan Antara Variasi Komposisi dan Jenis Sampah	36
Tabel 3.2	Metode Pengumpulan Data.....	40
Tabel 4.1	Kadar Air Sampel Sampah	44
Tabel 4.2	Tingkat Keasaman pH Sampel Sampah	44
Tabel 4.3	Analisis C-organik, TKN dan Rasio C/N Awal Sampel Sampah	45
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Kadar Air Sampah.....	49
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Rasio C/N Residu	51
Tabel 4.6	Persentase Reduksi Sampah Skala Laboratorium ...	53
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Kadar Air Larva	57
Tabel 4.8	Persentase dan Penambahan berat Larva.....	59
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Larva dan Jumlah Prapupa pada Akhir Penelitian.....	60
Tabel 4.10	Kandungan Protein Larva pada Komposisi Terpilih ..	61
Tabel 4.11	Data Pengukuran Suhu Reaktor Skala Pilot Tahap I	64
Tabel 4.12	Data Pengukuran pH Reaktor Skala Pilot Tahap I	64
Tabel 4.13	Hasil Pengukuran Rasio C/N Residu Skala Pilot Tahap I.....	66
Tabel 4.14	Persentase Reduksi Sampah Skala Pilot Tahap I	67
Tabel 4.15	Persentase dan Laju Penambahan Berat Larva Skala Pilot Tahap I	70
Tabel 4.16	Kandungan Protein Larva Sampah Skala Pilot Tahap I	71
Tabel 4.17	Hasil Pengukuran Rasio C/N Residu Reaktor Pilot Tahap II.....	76
Tabel 4.18	Persentase Reduksi Sampah pada Pilot Tahap II	77
Tabel 4.19	Hasil Pengukuran Berat Larva Reaktor Skala Pilot Tahap II.....	80

Tabel 4.20 Hasil Pengukuran Persentase dan Laju Penambahan Berat Larva Reaktor Skala Pilot Tahap II	80
Tabel 4.21 Kandungan Protein Larva Sampah Skala Pilot Tahap II	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ada beberapa teknologi reduksi sampah yang telah diterapkan, salah satunya teknologi komposting. Komposting banyak dikembangkan karena kesederhanaan dalam pengoperasian, biaya yang relatif murah dan hasil akhir kompos yang bernilai ekonomis. Teknologi komposting inilah yang dianggap sebagai solusi utama untuk mereduksi sampah. Tetapi hasil dari proses ini kurang bernilai karena beberapa hal, salah satunya C/N yang kurang memenuhi standar kompos. Kompos yang dihasilkan jarang digunakan dan meskipun digunakan pasti terjual dengan harga yang murah (Manios, 2004).

Salah satu teknologi reduksi sampah yang digunakan adalah teknologi dengan memanfaatkan larva BSF. Teknologi reduksi sampah dengan *Black Soldier Fly* (BSF) adalah teknologi biodegradasi sampah oleh larva dari spesies *Hermetia illucens* (*H. illucens*) (Soon-Ik dkk., 2015). Larva jenis ini mampu menghancurkan substrat organik sehingga dapat membantu masalah sampah yang masih belum bisa direduksi di perkotaan (Hogsette dan Borzanyi, 2000). Banyak negara yang sudah menerapkan teknologi ini sebagai solusi persampahan di negaranya seperti Argentina, Amerika Serikat, Australia, Hongkong dan Selandia Baru (Sheppard dkk., 1995). Teknologi BSF mulai dikembangkan karena merupakan cara cepat untuk reduksi sampah dan hasil akhirnya lebih bernilai dibandingkan dengan teknologi komposting (Subali dan Slinawati, 2010). Di beberapa negara berkembang, larva BSF ini digunakan sebagai pakan ikan, ayam, babi dan hewan lain sehingga bernilai jual tinggi (Sebek dan Temme, 2009).

Saat ini, teknologi BSF sudah mulai diteliti untuk dikembangkan dalam skala pilot di Puspa Agro, Sidoarjo. Sampah yang dikelola dengan teknologi BSF ini hanya sampah buah. Hal ini disebabkan karena larva *H. illucens* bekerja optimum jika makanannya berbentuk *slurry* atau memiliki kadar air 70,2% (Zheng dkk., 2011). Sampah buah yang masuk di pengolahan teknologi BSF di Puspa Agro dominan adalah sampah buah semangka dan pepaya. Semangka adalah buah

dengan kadar air hampir mencapai 98% sedangkan pepaya kadar airnya sebesar 87,2% (Nurlovi, 2004). Faktor kadar air inilah yang terkadang menyebabkan banyak larva *H. illucens* yang mati dan tidak bisa mendegradasi sampah hingga reduksi maksimum (Zheng dkk., 2011). Residu akhir yang dapat dijadikan produk kompos pun juga tidak dapat dimanfaatkan karena kadar air yang masih tinggi dan rasio C/N yang bernilai di batas bawah rentang rasio C/N menurut SNI 19-7030-2004 yaitu sebesar 10.

Menurut Diener (2010), larva yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan pakan ternak adalah larva yang mengandung protein di atas 40% dan 30% lemak. Newton dkk. (2009) menyatakan bahwa kandungan protein kasar *H. illucens* sebesar 43,2% saat makanan yang diberikan adalah pakan ayam. Selain itu, berat ideal larva BSF yang dapat dipanen sebesar 252 mg (Diener, 2010). Hal itu berkebalikan dengan kondisi di Puspa Agro, berat larva BSF yang dipanen hanya sebesar 100-140 mg. Komposisi sampah di Pasar Puspa Agro perlu diatur agar didapat protein sama atau di atas protein dengan pakan ayam dan meningkatkan reduksi serta pertumbuhan larva. Komposisi yang diatur adalah komposisi antara sampah buah dan sampah yang akan dicampurkan. Pilihan sampah yang akan dicampurkan adalah sampah sisa makanan dan kotoran ayam.

Kotoran ayam dipilih karena memiliki kandungan unsur yang lebih baik dibandingkan dengan bahan kotoran yang lainnya. Kotoran ayam memiliki waktu fermentasi yang lebih cepat dibandingkan dengan kotoran ternak yang lain, serta lebih disukai oleh larva BSF (Rachmawati dkk., 2008). Pemilihan sampah sisa makanan sebagai campuran juga turut mendukung target Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) yang dicanangkan oleh pemerintah adalah pada tahun 2019. Penggunaan sampah sisa makanan inilah yang direncanakan membantu reduksi sampah rumah tangga di sumber sampah yang hanya meningkat 2% setiap tahunnya (Artiningsih, 2008).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah

1. Berapa rasio komposisi sampah buah dan komposisi tambahan yang memberikan persentase reduksi sampah dan pertumbuhan larva terbesar pada skala laboratorium?
2. Bagaimana persentase kandungan protein larva dari masing-masing rasio komposisi terpilih pada skala laboratorium?
3. Bagaimana persentase reduksi sampah, pertumbuhan larva dan kandungan protein dengan menggunakan rasio komposisi terpilih dalam skala pilot?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini antara lain

1. Menentukan rasio komposisi sampah buah dan komposisi tambahan yang memberikan persentase reduksi sampah dan pertumbuhan larva terbesar pada skala laboratorium.
2. Menentukan persentase kandungan protein larva dari masing-masing rasio komposisi terpilih pada skala laboratorium.
3. Menentukan persentase reduksi sampah, pertumbuhan larva dan kandungan protein dengan menggunakan rasio komposisi terpilih dalam skala pilot.

1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi oleh batasan batasan ruang lingkup yang antara lain adalah

1. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret hingga Mei 2016.
2. Pelaksanaan penelitian tiap tahapannya dilaksanakan selama 14 hari sesuai waktu untuk fase larva BSF.
3. Larva yang digunakan adalah larva dari spesies *H. illucens* yang berumur 7 hari.
4. Komposisi sampah buah yang digunakan meliputi sampah pepaya dan semangka.
5. Komposisi tambahan meliputi sampah rumah tangga dan kotoran ayam.

6. Penelitian skala laboratorium dilaksanakan di *workshop* Jurusan Teknik Lingkungan ITS sedangkan pada skala pilot tahap I dan II dilaksanakan di Pasar Puspa Agro Sidoarjo.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain

1. Sebagai bahan evaluasi teknologi reduksi sampah dengan larva BSF di Pasar Puspa Agro Sidoarjo.
2. Sebagai acuan untuk Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kab. Sidoarjo dalam pengembangan teknologi reduksi sampah dengan larva BSF.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sampah akan selalu berada di lingkungan karena semua aktivitas manusia pasti menghasilkan sisa atau hasil samping yang tidak dimanfaatkan lagi. Sisa kegiatan atau hasil samping tersebut ada yang tidak bisa dimanfaatkan lagi ada juga yang masih bisa dimanfaatkan kembali (Subali dan Slinawati, 2010).

2.1 Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah adalah sifat-sifat sampah yang meliputi sifat fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik sampah sangat penting dalam pengembangan dan desain sistem manajemen persampahan. Karakteristik sampah dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu pendapatan masyarakat (*low, medium, dan high income*), pertumbuhan penduduk, produksi pertanian, pertumbuhan industri dan konsumsi serta perubahan musim (Tchobanoglous dkk., 1993).

1. Karakteristik Fisika

- Berat Jenis

Berat jenis merupakan berat material per unit volume (satuan lb/ft^3 , lb/yd^3 atau kg/m^3). Data ini diperlukan untuk menghitung beban massa dan volume total sampah yang harus dikelola. Berat jenis ini dipengaruhi oleh:

- Komposisi sampah
- Musim
- Lamanya penyimpanan

Tipikal massa jenis untuk sampah sayur dan buah adalah 359 kg/m^3 , dan sampah ikan 359 kg/m^3 (Tchobanoglous dkk., 1993).

- Kelembaban

Menentukan kelembaban dalam sampah dapat digunakan dua cara yaitu dengan ukuran berat basah dan berat kering. Ukuran kelembaban yang umum digunakan dalam manajemen persampahan adalah persentase berat basah (*wet weight*). Data kelembaban sampah berguna dalam perencanaan bahan wadah, periodisasi pengumpulan, dan desain sistem pengolahan. Kelembaban sampah dipengaruhi oleh:

- Komposisi sampah
- Musim
- Kadar humus
- Curah hujan

$$\text{Kadar air (\%)} = \left(\frac{a - b}{a} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Dimana : a = berat awal (berat basah) sampah
 b = berat akhir sampah (berat kering)

- Ukuran dan distribusi partikel

Penentuan ukuran dan distribusi partikel sampah digunakan untuk menentukan jenis fasilitas pengolahan sampah, terutama untuk memisahkan partikel besar dengan partikel kecil. Ukuran komponen rata-rata yang ditemukan dalam sampah kota berkisar antara 7-8 inci.

- *Field Capacity*

Field capacity adalah jumlah kelembaban yang dapat ditahan dalam sampah akibat gaya gravitasi. *Field capacity* sangat penting dalam menentukan aliran *leachate* dalam landfill. Biasanya *field capacity* sebesar 30% dari volume sampah total.

- Permeabilitas sampah yang dipadatkan

Permeabilitas sampah yang dipadatkan diperlukan untuk mengetahui gerakan cairan dan gas dalam *landfill*.

2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia sampah diperlukan untuk mengevaluasi alternatif suatu proses dan sistem *recovery* pengolahan sampah.

a. *Proximate Analysis*

Proximate analysis terhadap komponen *Municipal Solid Waste* (MSW) mudah terbakar meliputi (Tchobanoglous dkk., 1993):

- Kelembaban (kadar air berkurang pada suhu 105°C, t = 1 jam)
- *Volatile combustible matter* (berat sampah yang berkurang pada pemanasan 950°C)
- *Fixed carbon* (sisa material setelah volatil hilang)
- *Ash* (sisa pembakaran).

b. Titik Lebur Abu

Titik lebur abu merupakan titik temperatur saat pembakaran menghasilkan abu, berkisar antara 1100–1200°C (2000-2200°F).

c. *Ultimate Analysis*

Ultimate Analysis meliputi penentuan unsur Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Sulfur (S) sampah. Berdasarkan nilai C dan N ini dapat ditentukan rasio C/N sampah (Tchobanoglous dkk., 1993). Kadar karbon tertinggi dimiliki oleh komponen karet (78%), kadar hidrogen tertinggi dimiliki oleh sampah karet (10%), kadar oksigen tertinggi dimiliki oleh sampah kertas (44%), kadar nitrogen tertinggi dimiliki oleh sampah kulit (10%) dan kadar sulfur tertinggi dimiliki oleh sampah makanan dan kulit (0,4%).

d. Kandungan Energi Komponen Sampah

Kandungan energi yang terdapat di dalam sampah dapat dihitung dengan cara menggunakan alat *calorimeter* atau *bomb calorimeter*, dan dengan perhitungan. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat tipikal nilai kandungan energi dari sampah organik pemukiman.

Tabel 2. 1 Tipikal Kandungan Energi Sampah Organik

No	Komponen	Kandungan Energi (kJ/Kg)	
		Rentang	Tipikal
1	Sampah makanan	3.500-7.000	4.650
2	Kertas	11.600-18.610	16.760
3	Kulit	15.130-19.800	17.460
4	Sampah Kebun	2.330-18.620	6.520
5	Kayu	17.460-19.800	18.620

Sumber : Tchobanoglous dkk., 1993

3. Karakteristik Biologi

Penentuan karakteristik biologi digunakan untuk menentukan karakteristik sampah organik di luar plastik, karet dan kulit. Parameter-parameter yang umumnya dianalisis untuk menentukan karakteristik biologi sampah organik terdiri atas (Tchobanoglous dkk., 1993):

- Parameter yang larut dalam air terdiri atas gula, zat tepung, asam amino, dan lain-lain

- Hemiselulosa yaitu hasil kondensasi gula dan karbon
- Selulosa yaitu hasil kondensasi gula dan karbon
- Lemak, minyak, lilin
- Lignin yaitu senyawa polimer dengan cincin aromatik
- Lignoselulosa merupakan kombinasi lignin dengan selulosa
- Protein terdiri atas rantai asam amino. Parameter-parameter di atas bertujuan untuk menentukan:
 1. Biodegradabilitas Komponen Organik. Fraksi biodegradabilitas dapat ditentukan dari kandungan lignin dari sampah. Pengukuran biodegradabilitas dipengaruhi oleh pembakaran *volatile solid* pada suhu 550°C, jika nilai *volatile solid* besar maka biodegradabilitas sampah tersebut kecil.
 2. Bau. Bau dapat timbul jika sampah disimpan dalam jangka waktu lama di tempat pengumpulan, *transfer station*, dan di *landfill*. Bau dipengaruhi oleh iklim panas. Bau terbentuk sebagai hasil dari proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat pada sampah kota secara anaerob.
 3. Perkembangan Lalat. Pada musim panas, perkembangbiakan lalat perlu mendapat perhatian yang khusus. Lalat dapat berkembang biak pada tempat pengumpulan sampah dalam waktu kurang dari dua minggu.

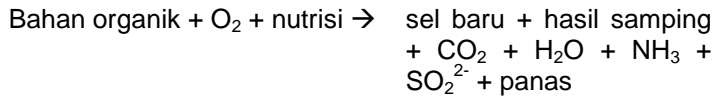
Menurut Widodo dkk. (2008), sampah berdasarkan sifatnya digolongkan secara kasar menjadi 2 golongan, yaitu:

- Sampah organik (dapat terurai/*degradable*)
Sampah yang membusuk seperti sisa makanan, sayuran, daun kering, sampah kebun, rumput dan sebagainya. Sampah yang mudah terurai ini yang nantinya dapat dikomposkan.
- Sampah anorganik (sulit terurai)
Sampah yang tidak mudah terurai seperti plastik wadah kemasan makanan, kertas, botol, kayu, kaleng dan sebagainya. Sampah yang sulit terurai ini tidak bisa dikomposkan.

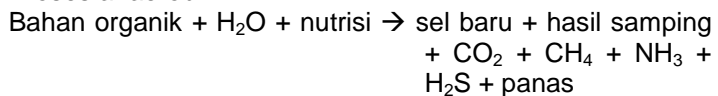
2.2 Teknologi Komposting

Kompos adalah bentuk akhir dari bahan-bahan organik sampah setelah mengalami dekomposisi. Proses dekomposisi dilakukan oleh mikroorganisme aktif yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan selama proses pengomposan. Proses komposting memiliki 2 macam menurut jenisnya, yaitu secara aerobik dan anaerobik. Pengomposan aerobik adalah proses dekomposisi dengan kehadiran oksigen sedangkan proses anaerobik tanpa kehadiran oksigen bebas. Berikut reaksi dari masing-masing proses dapat dilihat di bawah ini.

Proses aerobik:



Proses anaerobik:



Selama proses pengomposan akan terjadi penyusutan volume maupun biomassa bahan. Pengurangan ini dapat mencapai 30-40% dari volume/bobot awal bahan (Tchobanoglous dkk., 1993). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan menurut Murbandono (2002) antara lain.

- a. Bahan baku, yaitu bahan yang digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan kompos. Pada bahan baku yang lebih lunak akan lebih cepat terurai menjadi kompos dibandingkan dengan bahan yang keras.
- b. Suhu, suhu yang kurang atau berlebih akan menyebabkan mikroorganisme pengurai tidak bisa berkembang dengan baik sehingga proses pengomposan juga akan semakin lama.
- c. pH, semakin tinggi kadar pH maka akan semakin cepat proses pengomposan.
- d. Air dan udara, air yang kurang akan bercendawan dan air yang berlebih akan menyebabkan keadaan menjadi anaerob.
- e. Rasio C/N, semakin banyak kandungan N, bahan baku akan semakin cepat terurai. Rasio C/N yang berada

pada rentang bahan baku kompos akan mempercepat proses pengomposan.

Menurut SNI 19-7030-2004 persyaratan kematangan kompos antara lain, rasio C/N pada rentang 10-20, suhu sesuai suhu air tanah, warna kehitaman bertekstur seperti tanah dan berbau tanah.

2.3 Kotoran Ayam

Widodo dkk. (2008) menyatakan bahwa pupuk kandang/kotoran ternak ayam sangat kaya berbagai unsur hara makro dan mikro untuk menyuburkan tanah, selain itu juga berperan penting untuk memperbaiki sifat biologis, fisik dan kimia pada tanah pertanian secara alami. Kandungan manur (air yang dihasilkan) antara 27-86% merupakan media yang paling baik untuk pertumbuhan dan perkembangan larva lalat, sementara kandungan air 65-85% merupakan media yang optimal untuk bertelur lalat. Kandungan unsur hara kotoran ayam dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kandungan Unsur Hara Kotoran Ayam

No		%N (berat basah)	C:N	Kadar air (%)	Densitas (lb/yd ³)
1	Rentang	1,6-3,9	12-15	27-86	756-1026
2	Rata-rata	2,7	14	37	864

Sumber: Rynk dkk., 1992

Selain mensuplai berbagai unsur hara makro dan mikro seperti di atas kotoran ayam memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Kelebihan lain antara lain dapat membentuk senyawa kompleks yang bereaksi dengan ion logam. Karena kemampuan membentuk senyawa kompleks, mampu menyingkirkan dan mengurangi ion-ion logam yang berpotensi menghambat penyediaan unsur hara seperti Al, Fe dan Mn atau ion logam yang meracuni tanaman. Kandungan nutrisi pada feses ayam dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Kandungan Nutrisi Feses Ayam Petelur

No	Kandungan Nutrisi	Hasil
1	Protein kasar (%)	17,15
2	Serat kasar (%)	7,45
3	Lemak kasar (%)	2,56
4	Energi Bruto (kkal/kg)	2899
5	Abu (%)	4,13

Sumber: Katayane dkk., 2014

2.4 Black Soldier Fly (BSF)

2.4.1. Klasifikasi

Lalat *Black Soldier*, *H. illucens*, adalah sejenis lalat buah yang terlihat seperti memiliki penyengat. Meskipun seperti lalat pada umumnya, *Black Soldier Fly* hanya memiliki dua sayap (hewan penyengat memiliki empat) dan tidak memiliki alat peyengat. BSF selalu menarik perhatian dengan mengeluarkan dengung saat terbang, tapi BSF dewasa tidak membahayakan. BSF dapat bertahan hidup dengan suhu minimum 0°C dalam waktu 4 jam, dan suhu maksimum BSF dapat bertahan hidup adalah 45°C. Larva menjadi tidak aktif pada temperatur dibawah 10°C dan dan suhu diatas 45°C. Temperatur optimum untuk larva berkembang menjadi pupa adalah berkisar antara 25°C-30°C. Temperatur untuk BSF dapat kawin adalah sekitar 28°C (Zheng dkk., 2011). Siklus metamorfosis BSF berlangsung dalam rentang kurang lebih 40 hari, tergantung pada suhu dan kelembaban tempat hidup BSF, dan asupan nutrisi yang dimakan (Alvarez, 2012).



Gambar 2. 1 Lalat *Black Soldier* Dewasa, *H. illucens* (Linnaeus)

Sumber : Joseph dan Phillip, (2009)

BSF sering dijumpai di tempat luar dan peternakan, selalu di sekitar material organik yang membusuk seperti kotoran hewan atau dedaunan. BSF diketahui dapat mereduksi kotoran hewan

seperti babi dan unggas (Newton dkk., 2005). Menurut Goddard (2003), meskipun terlihat sebagai hewan penyebar penyakit, BSF terbukti negatif dalam menyebarkan penyakit. Hal itu disebabkan karena ketika dewasa BSF tidak bisa melakukan proses pencernaan atau tidak mengkonsumsi makanan.

Klasifikasi *Black Soldier Fly* adalah sebagai berikut :

Kingdom : *Animalia*

Phylum : *Arthropoda*

Class : *Insecta*

Order : *Diptera*

Family : *Stratiomyidae*

Subfamily : *Hermetiinae*

Genus : *Hermetia*

Species : *H. Illucens*

Dalam perkembangbiakan alamnya, BSF meninggalkan telurnya pada bahan organik yang BSF dewasa hinggap. BSF hinggap di tempat dengan tingkat sanitasi rendah karena akan banyak bahan organik tercecer di sana (Joseph dan Philip, 2009).

2.4.2. Daur Hidup

Dewasa

Kelompok *Black Soldier Fly* family *Stratiomyidae* memiliki rentang warna dari kuning, hijau, hitam atau biru, dengan warna sedikit metalik. Beberapa memiliki kesamaan ketika terbang seperti lebah dan tawon. BSF dewasa memiliki warna seperti tawon yaitu hitam atau biru. Lalat *Black Soldier* juga memiliki 2 jendela tembus cahaya yang terletak di segmen abdomen pertama. BSF dewasa memiliki rentang panjang 15 hingga 20 mm (Sheppard dkk., 2002). Antena memanjangnya terdiri dari 3 segmen dan kaki didekat ujung masing-masing kakinya berwarna putih.



Gambar 2. 2 Tampak Samping *Black Soldier Fly*, *H. illucens* (Linnaeus)

Sumber: Joseph dan Phillip, (2009)

Dua hari setelah BSF dewasa muncul dari fase pupa, perpasangan dapat terjadi. BSF jantan dapat tertarik pada betina di tengah udara atau saat terbang dan mereka turun dalam *copula* (Tomberlin dkk., 2009). BSF jantan di sekitar sarangnya dan menunggu BSF betina terbang. Sarang jantan tersebut menahan BSF jantan yang lainnya. Ketika pejantan memaksa wilayah teritori pejantan lain, pejantan yang memiliki wilayah akan menangkap pejantan yang mengganggu. Setelah adanya kompetisi singkat, pejantan penyerbu akan pergi.

Suhu optimum bagi imago BSF untuk bertelur secara alami di alam adalah sekitar 27,5-37,5°C (Sheppard dkk., 1995). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan imago BSF yang diberi air dapat hidup lebih lama daripada yang tidak diberi air sama sekali, kelembaban udara optimum yang baik untuk imago BSF betina dapat bertelur adalah antara 30-90% (Tomberlin dkk., 2009).

Telur

BSF betina dapat menyimpan hingga 500 telur dalam celah dan retakan pada kotoran, bangkai, sampah dan bahan organik lainnya hingga telurnya menetas. Proses dari telur menjadi larva membutuhkan waktu 4 hari. Telur BSF berbentuk oval yang memiliki panjang sekitar 1 mm dengan warna putih pucat atau kuning krem (NCIPMI, 1998).

Larva

Larva bisa mencapai panjang 27 mm dan lebar 6 mm. Larva jarang bergerak, bentuknya kecil dengan warna sedikit pucat dan memiliki mulut yang berfungsi mengunyah. Larva membutuhkan waktu 14 hari dalam satu tahapan hidupnya (Hall dan Gerhardt 2002). Selama dalam perkembangan larva, larva *Black Soldier Fly* menjadi aktif memakan. Sehingga saat tahap dewasa, mereka tidak makan dan mengandalkan cadangan makanan yang disimpan pada tahap larva.



Gambar 2. 3 Punggung (kiri) dan Perut (kanan) Larva BSF, *H. illucens* (Linnaeus)

Sumber: Joseph dan Phillip, (2009)

Pupa

Sebelum tahap pupa, larva berpindah dari daerah yang penuh makanan ke tempat yang kering, seperti tanah vegetasi, untuk memulai tahapan pupa. Eksoskeleton (kulit) menjadi gelap dan dalam perkembangannya pupa membutuhkan waktu sekitar 2 minggu (Hall dan Gerhardt 2002).



Gambar 2. 4 Pupa *Black Soldier Fly*, *H. illucens* (Linnaeus)

Sumber: Joseph dan Phillip, (2009)

2.4.3. Kandungan Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

Larva BSF kaya akan protein dan lemak yang berguna untuk pembuatan pakan ternak. Selain itu lemak dari larva BSF juga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel. Biodiesel mendegradasi kotoran hewan memiliki nilai energi yang sebanding dengan gas metana (CH_4) yang dihasilkan kotoran hewan yang didegradasinya. Newton dkk. (2005), pernah melakukan uji kandungan nutrisi Larva BSF, setelah melakukan percobaan selama 14 hari dalam mereduksi kotoran hewan, nutrisi pada tubuh BSF dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.5

Tabel 2. 4 Kandungan Asam Amino Tubuh Larva BSF

Essential Amino Acids (g/16 g N)		Additional Amino Acids (g/16 g N)	
<i>Methionine</i>	0,9	<i>Tyrosine</i>	2,5
<i>Lysine</i>	3,4	<i>Aspartic acid</i>	4,6
<i>Leucine</i>	3,5	<i>Serine</i>	0,1
<i>Isoleucine</i>	2,0	<i>Glutamic acid</i>	3,8
<i>Histidine</i>	1,9	<i>Glycine</i>	2,9
<i>Phenylalanine</i>	2,2	<i>Alanine</i>	3,7
<i>Valine</i>	3,4	<i>Proline</i>	3,3
<i>1-Arginine</i>	2,2	<i>Cystine</i>	0,1
<i>Threonine</i>	0,6	<i>Ammonia</i>	1,3
<i>Tryptophan</i>	0,2		

Sumber : Newton dkk., 2005

Tabel 2. 5 Kandungan Mineral dan Analisis Proksimat pada Tubuh Larva BSF

Mineral		Proximate Analysis	
P	1,51%	<i>Crude protein</i>	42,1%
K	0,69%	<i>Ether extract</i>	34,8%
Ca	5,00%	<i>Crude fiber</i>	7%
Mg	0,39%	<i>Ash</i>	14,6%
Mn	246 ppm		
Fe	1370 ppm		
B	0 ppm		
Zn	108 ppm		
Sr	53 ppm		
Na	1325 ppm		
Cu	6 ppm		
Al	97 ppm		
Ba	33 ppm		

Sumber : Rahmawati dkk., 2010

2.5 Reduksi Sampah dengan Larva *Black Soldier Fly*

Black Soldier Fly (BSF) sudah tidak dianggap sebagai hama (Newton dkk, 2005). Karena larva BSF sudah menunjukkan perannya yang efektif untuk mendaur ulang. Sistem manajemen dengan BSF tidak hanya digunakan untuk mengurangi limbah ternak, tetapi juga dapat dijadikan sebagai sumber makanan ikan dan hewan lainnya. Pada penelitian Newton dkk. (2005), BSF

mampu mereduksi kotoran babi dalam jumlah yang cukup besar. Kotoran yang dipindahkan di dalam sebuah reaktor, akan direduksi oleh larva BSF hingga 50%. Sekitar 45.000 larva akan mengkonsumsi 24 kg kotoran babi dalam 14 hari. Saat menjadi larva dewasa, larva dewasa akan merangkak keluar dari reaktor dan kemudian dijadikan pakan ternak. Selain menjadi sumber yang baik dari minyak dan protein untuk pakan ternak, larva BSF memiliki potensi untuk meningkatkan sampah organik menjadi pupuk organik (Joseph dan Phillip, 2009).

Memasuki tahap larva BSF akan mulai memakan sampah organik yang diberikan, sampai pada tingkat reduksi hampir 55% berdasarkan berat kering sampah (Diener, 2010). Larva BSF tidak memiliki jam istirahat, namun mereka juga tidak makan sepanjang waktu (Alvarez, 2012). Kadar air optimum pada makanan larva BSF adalah antara 60-90% (Alvarez, 2012). Ketika kadar air sampah yang diberikan terlalu tinggi akan menyebabkan larva keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Namun, ketika kadar airnya juga kurang akan mengakibatkan konsumsi makanan yang kurang efisien pula (Alvarez, 2012). Sementara suhu makanan yang diberikan optimum pada angka 27-33°C, namun demikian pada suhu yang lebih rendah larva BSF tetap dapat bertahan karena adanya asupan panas dari sampah yang dimakannya (Alvarez, 2012). Ketika larva mencapai tahap dewasa, larva BSF akan mampu mengurai sampah organik dengan sangat cepat dan menekan pertumbuhan bakteri serta mengurangi bau tidak sedap yang ada pada sampah dengan sangat baik (Diener, 2010).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses reduksi sampah dengan BSF, faktor-faktor tersebut antara lain:

- Pola makan larva BSF

Larva BSF umumnya memiliki ciri makan searah horizontal dengan makanannya. Namun terkadang larva BSF akan bergerak secara vertikal untuk memakan nutrisi yang terdapat pada lindi yang dihasilkan dari pembusukan sampah makanan yang diberikan.

- Ketersediaan oksigen yang cukup pada tempat pembiakan

Larva BSF membutuhkan oksigen untuk bernapas dan sangat tidak menyukai kondisi dengan kadar karbondioksida yang

tinggi. Pada saat kadar karbondioksida pada reaktor pembiakan tinggi, maka larva BSF akan berusaha keluar dan mencari sumber oksigen. Hal ini sering menyebabkan keluarnya larva BSF meskipun belum mulai berubah menjadi prapupa.

- Kadar air pada makanan larva

Kadar air sampah mempengaruhi waktu konsumsi larva terhadap sampah yang diberikan. Larva BSF akan optimum mengkonsumsi sampah yang diberikan pada rentang 60-90%. Semakin tinggi kadar air dalam sampah yang diberikan membuat larva BSF cenderung untuk keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Namun kurangnya kadar air juga tidak baik karena menghambat proses pencernaan yang dilakukan oleh larva BSF.

- Ketersediaan cahaya

Larva BSF merupakan hewan fotofobia. Pada fase larva mereka cenderung menjauhi sumber cahaya. Pada tahap prapupa mereka akan keluar secara alami dari reaktor pembiakan, dan mencari tempat kering dan berlindung yang gelap sebelum berubah menjadi kepompong.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang pemanfaatan larva BSF telah banyak dilakukan sebagai upaya reduksi timbulan sampah organik. Salah satunya dari penelitian yang dilakukan Sipayung (2015). Dari penelitiannya diketahui bahwa persentase reduksi tertinggi berada pada komposisi sampah makanan dan sampah kulit pisang. Selain itu, menurut penelitian Diener (2010) pertumbuhan larva sangat dipengaruhi dari kandungan nutrisi makanan yang diberikan dan *feeding rate* yang dilakukan.

Dalam percobaan Saragi (2015), diberikan makanan pada larva dengan variasi *feeding rate* 20, 40 dan 60 mg/larva.hari pada beberapa sumber sampah yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian makanan dengan porsi 40 mg/larva.hari memiliki tingkat reduksi sampah yang paling tinggi. Kemampuan memakan larva naik dari *feeding rate* 40 hingga 40 mg/larva.hari, namun menurun pada *feeding rate* 60 mg/larva.hari. Menurut Diener (2010), tingkat reduksi sampah oleh larva BSF dapat diketahui dengan WRI sebagai berikut.

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100 \quad (2.2)$$

$$D = \frac{W - R}{W} \quad (2.3)$$

Dimana : WRI = indeks reduksi sampah
 D = tingkat degradasi sampah
 T = waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah
 W = jumlah sampah sebelum terdegradasi
 R = jumlah residu

Data dari Katayane dkk. (2014), menunjukkan rata-rata kandungan protein kasar *H. illucens* pada perlakuan media feses ayam petelur 25,05%. Tinggi rendahnya kandungan protein *H. illucens*, dipengaruhi oleh perbedaan media tumbuh yang digunakan. Hasil penelitian Diener (2010), kandungan nutrisi tepung *H. illucens* mengandung protein kasar berkisar 28,2-42,5%. Newton dkk. (2009) menyatakan bahwa kandungan protein kasar *H. illucens* dengan makanan pakan ayam sebesar 43,2%. Menurut Sheppard dkk. (2002), larva lalat *black soldier* mengandung protein 42,1%. Protein yang dikandung oleh *H. illucens* bersumber dari protein yang terdapat pada media tumbuh karena *H. illucens* memanfaatkan protein yang ada pada media untuk membentuk protein tubuhnya. Jika kuantitas dan kualitas media tinggi akan berpengaruh positif pada kuantitas dan kualitas protein *H. illucens*. Kandungan protein feses ayam petelur yaitu 17,15%.

Berdasarkan penelitian Zakova dan Borkovcova (2013), larva BSF dapat mereduksi sampah rumah tangga dan sampah kebun hingga 64% dalam skala laboratorium. Larva yang mempunyai kemampuan reduksi paling besar adalah larva dewasa dengan ukuran 2,5 mm hingga 3,8 mm dalam suhu ideal antara 27°C hingga 37°C. Tomberlin dkk. (2009) telah membuktikan bahwa suhu dapat mempengaruhi waktu perkembangan larva pupa *H. illucens*. Larva dan pupa *H. illucens* yang dipelihara pada suhu 27°C, berkembang lebih lambat 4 hari daripada yang dipelihara pada suhu 30°C, sementara pada suhu 36°C, hampir tidak ada pupa yang terus bertahan hidup. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemasukan panas total (*total heat*

input) yang diterima oleh larva yang dipelihara pada suhu 30°C lebih cepat terpenuhi, guna melengkapi syarat perkembangan menuju tahap pupa, daripada larva yang dipelihara pada suhu 27°C. Hal yang membedakan penelitian ini dengan penelitian Zakova dan Borkovcova (2013) adalah komposisi sampah, penggunaan kotoran hewan dan penerapannya. Penerapan penelitian ini merujuk dalam skala pilot.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

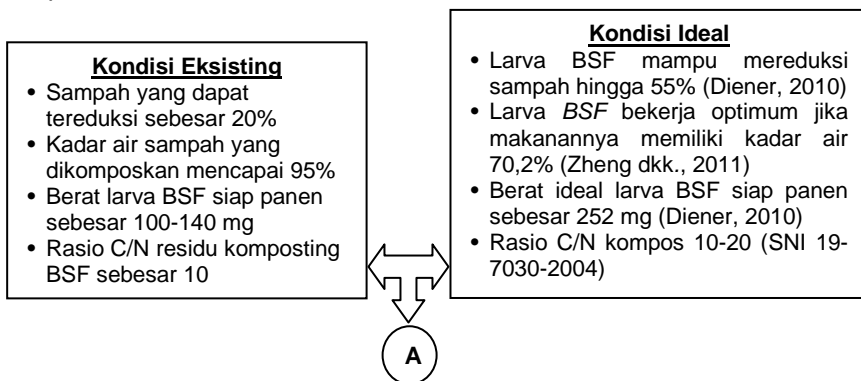
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan melalui 2 tahapan. Tahap pertama dilaksanakan dalam skala laboratorium yang bertempat di *workshop* Jurusan Teknik Lingkungan, ITS. Sedangkan tahap kedua dalam skala pilot yang terdiri dari 2 tahapan dilaksanakan di Pasar Pusta Agro Sidoarjo. Penelitian direncanakan dilaksanakan dalam kurun waktu 2 bulan (60 hari) dengan waktu pelaksanaan penelitian selama 14 hari dengan dua kali pengulangan. Sisa waktu dicadangkan apabila pelaksanaan penelitian sebelumnya mengalami kesalahan. Hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah menentukan komposisi penambahan jenis sampah baru sehingga menghasilkan reduksi terbesar. Komposisi yang memberikan persentase reduksi terbesar selanjutnya dapat diterapkan dalam skala pilot di Pasar Pusta Agro, Sidoarjo.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dibuat dalam bentuk kerangka penelitian. Kerangka penelitian ini dibuat guna memudahkan dalam pelaksanaan penelitian. Kerangka penelitian yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



A



Ide Penelitian

Teknologi Konversi Sampah Menjadi Protein dengan Memanfaatkan Larva *Black Soldier Fly* (BSF) di Kawasan Pasar Puspa Agro Sidoarjo



Persiapan Alat Dan Bahan

Alat

- Glassware
 - Neraca Analitik
 - Termometer
 - Ember
 - Timbangan
 - Pinset
 - Oven
 - Desikator
 - Kertas tisu
 - ATK
- Mesin Pencacah
 - pH meter
 - Reaktor Volume 5 l
 - Rak reaktor

Bahan

- Sampah buah
- Sampah sisa makanan
- Kotoran ayam
- Larva berumur 7 hari

Persiapan Peneitian

- Mengurus surat perijinan penelitian
- Mencari informasi untuk lokasi uji laboratorium



Survei Pendahuluan

- Persentase Sampah yang Dapat Dikomposkan
- Kadar Air Sampah Pasar Puspa Agro
- Derajat Keasaman (pH) Sampah Pasar Puspa Agro
- Rasio C/N Sampah Pasar Puspa Agro

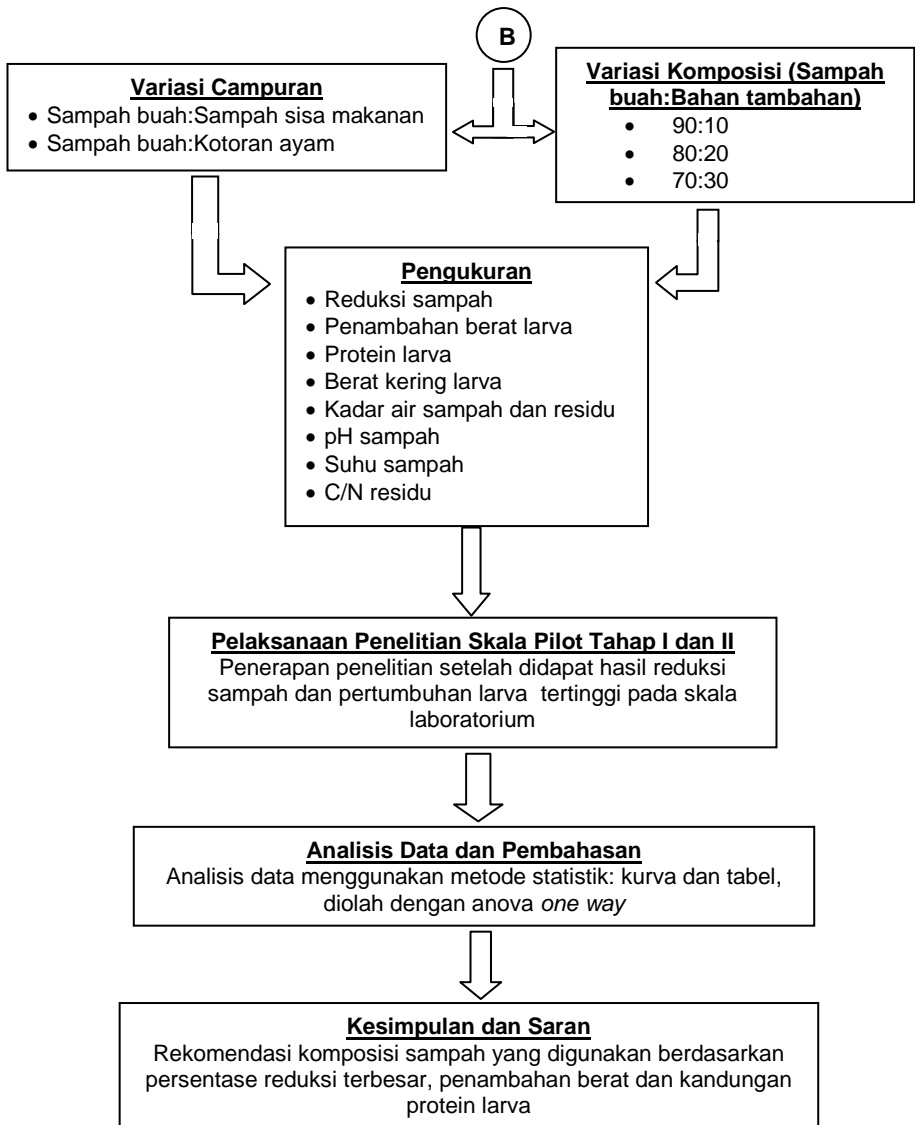


Pelaksanaan Penelitian Skala Laboratorium

Penelitian teknologi komposting ditinjau dari variasi komposisi dan variasi jenis penambahan sampah



B



Gambar 3. 1 Kerangka Tahapan Penelitian

3.3 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian diawali dengan mengurus perijinan di BAKESBANGPOL tingkat provinsi. Surat rekomendasi dari BAKESBANGPOL Provinsi diteruskan kepada BAKESBANGPOL Kabupaten Sidoarjo. Surat rekomendasi yang didapat dari BAKESBANGPOL Kabupaten Sidoarjo diteruskan kepada Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kabupaten Sidoarjo. Pencarian informasi mengenai lokasi untuk uji laboratorium yang akan dilakukan pada penelitian juga dilakukan pada persiapan penelitian ini. Untuk menguji laboratorium harus mencari informasi tentang keakuratan hasil dan biaya uji.

Selain itu, persiapan penelitian juga dilakukan dengan mempersiapkan segala alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian. Alat yang dipersiapkan yaitu segala keperluan pembuatan reaktor dan keperluan selama pelaksanaan penelitian. Bahan yang diperlukan yaitu sampah yang didapat dari Pasar Puspa Agro. Berikut merupakan rincian alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian.

- a. Alat yang diperlukan
 1. *Glassware* (Pyrex, Jerman).
 2. Reaktor dari bak plastik berdiameter 7 cm sejumlah 15 buah dan ukuran 60 x 40 x 40 cm sejumlah 36 buah.
 3. Pinset.
 4. Ember ukuran 20 L sebagai tempat mengumpulkan sampah.
 5. ATK.
 6. Oven dan desikator untuk mendapatkan berat kering sampah.
 7. Termometer (EC 10 PHonLab, USA) untuk mengetahui suhu udara di lokasi pembiakan larva.
 8. Neraca analitik untuk mendapatkan berat kering sampah.
 9. Timbangan untuk mendapatkan berat sampah.
 10. Kertas tisu untuk menentukan berat kering sampah dan untuk mengeringkan larva sebelum ditimbang beratnya.
 11. pH meter (Cyberscan 510, USA) untuk mengukur besar pH selama proses pelaksanaan.

12. Mesin pencacah untuk mengubah bentuk sampah menjadi lebih kecil.

13. Rak untuk meletakkan reaktor.

b. Bahan yang diperlukan

1. Larva BSF umur 1 (satu) minggu.

2. Sampah buah.

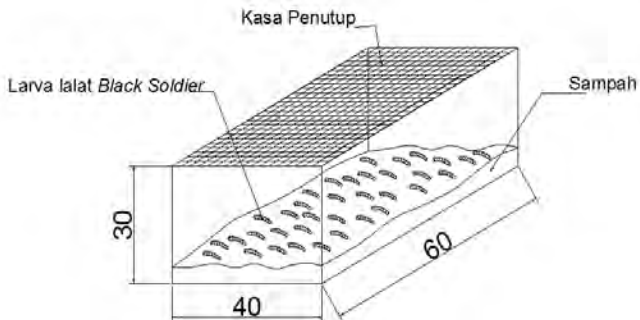
3. Sampah sisa makanan.

4. Kotoran ayam.

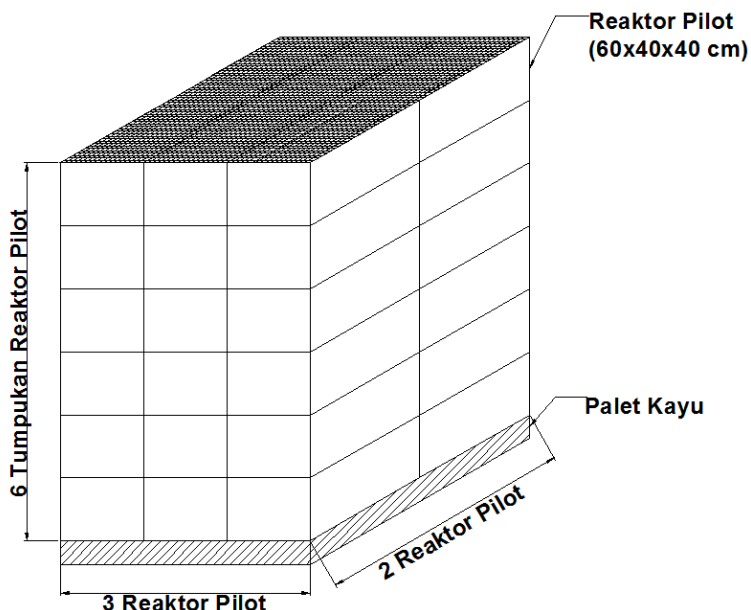
Gambaran desain reaktor yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2 hingga 3.4. dan gambar reaktor eksisting dapat dilihat pada Lampiran C.



Gambar 3. 2 Reaktor Pembiakan Larva Skala Laboratorium (diameter 7 cm)



Gambar 3. 3 Reaktor Pembiakan Larva Skala Pilot Tahap I (60 x 40 x 40 cm)



Gambar 3. 4 Susunan Reaktor Pembiakan Larva Skala Pilot Tahap II

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian akan dilakukan terhadap 2 kombinasi jenis sampah dengan 4 rasio komposisi yang berbeda. Sebagai kontrol hasil akan digunakan jenis sampah tanpa pencampuran. Pelaksanaan dilaksanakan dalam 2 tahap yaitu skala laboratorium dan skala pilot dengan prosedur pelaksanaan pada kedua tahap ini adalah sama. Penelitian pada tahap kedua yaitu dalam skala pilot terdiri atas 2 tahapan dengan perbedaan pada tahap kedua dikondisikan dengan jenis sampah yang ada di lapangan.

3.4.1 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilaksanakan dengan melakukan sampling sampah rumah tangga untuk mengetahui komposisinya. Komposisi sampah yang didapat digunakan sebagai pengumpulan sampel sampah pada skala laboratorium. Sampel

yang dikumpulkan untuk skala laboratorium tipikal dengan sampah yang ada di Puspa Agro. Sampling sampah rumah tangga dilakukan sebanyak 3 kali sampling. Dua sampling awal dilakukan selama 2 minggu yang berlokasi di rumah susun dalam kawasan Puspa Agro. Sampling terakhir dilakukan pada rumah rumah di sekitar kawasan Puspa Agro. Selain pada tahap pendahuluan, dilakukan penentuan karakteristik, kadar air, pH serta rasio C/N sampah yang digunakan di Puspa Agro juga diukur pada tahap pendahuluan.

3.4.2 Pembiakan Larva BSF

Sebelum memperoleh larva BSF yang digunakan dalam penelitian ini tentunya diperlukan upaya pembiakan BSF. Pembiakan BSF dilakukan di TPST Pasar Puspa Agro, Sidoarjo. Pembiakan BSF dilakukan dengan menyediakan reaktor tempat pertumbuhan telur, reaktor tempat pertumbuhan larva, dan ruang pembenihan sebagai tempat pertumbuhan dan perkawinan lalat dewasa. Sebagai media tempat telur disediakan batangan kayu yang sudah diberi lubang pada sisinya atau dengan menggunakan kertas karton yang ditempel beberapa lapis. Telur yang sudah diletakkan oleh BSF dewasa di media tersebut kemudian ditempatkan di reaktor kosong dan diberi tanda berdasarkan waktu pengumpulannya. Media telur diperiksa setiap hari, untuk mengontrol bilamana telur sudah menetas. Larva mulai diberi makan bila telur yang menetas di dalam reaktor sudah banyak yang menetas menjadi larva. Makanan awal yang diberikan adalah pakan ayam yang telah dicampur yang ditambahkan dengan air. Waktu pengumpulan telur dan waktu tetas (pada saat mulai diberi makan) dicatat pada reaktor yang digunakan sebagai kontrol umur larva. Setiap reaktor yang digunakan diisi dengan larva yang sama tanggal waktu tetasnya, sehingga dapat diketahui umur larva tiap reaktor.

Setelah larva berubah menjadi prapupa dan mulai keluar dari reaktor tempat makannya, prapupa dikumpulkan dan dipindahkan ke dalam ruang pembenihan. Pada ruang pembenihan telah disediakan tempat untuk pertumbuhan prapupa berupa serabut kelapa dan daun-daunan kering, karena diketahui prapupa dan pupa menyukai tempat kering dan gelap. Sumber air di dalam wadah juga disediakan untuk lalat dewasa minum dan

mengurangi suhu ruang pembenihan dengan adanya penguapan serta tanaman hijau sebagai tempat hinggap lalat dewasa.

3.4.3 Pengumpulan Sampel Sampah

Bahan yang akan digunakan ada 3 jenis, yaitu sampah buah, sampah sisa makanan dan kotoran ayam. Sampah yang digunakan adalah sampah segar yang berumur 1-2 hari setelah dibuang. Sampah buah yang digunakan adalah campuran dari buah semangka dan buah pepaya. Pemilihan jenis sampah didasarkan pada sampah paling banyak dibuang di lapangan dan juga letak sumber yang tidak terlalu jauh dari lokasi penelitian.

Sampah dikumpulkan langsung dari sumbernya dibawa langsung ke tempat pelaksanaan penelitian. Semakin kecil ukuran bahan, proses pengolahan akan lebih cepat dan lebih baik karena larva BSF lebih mudah beraktivitas pada bahan yang lembut daripada bahan dengan ukuran yang lebih besar. Sampel sampah untuk skala laboratorium yang telah sesuai dengan rasio perbandingannya dilumatkan hingga berbentuk *slurry*. Sampah yang telah halus dimasukkan ke dalam reaktor yang tersedia. Sampel sampah dalam skala pilot yang telah terkumpul sesuai rasio perbandingannya dicacah menggunakan mesin pencacah, untuk mempermudah BSF dalam memakan sampah tersebut. Sampah yang telah dicacah, kemudian diaduk hingga tercampur merata. Sampah yang telah tercampur, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pilot yang tersedia. Pencampuran jumlah sampah dikombinasikan sesuai komposisi yang direncanakan.

3.4.4 Pengukuran Berat Kering dan Analisis Kebutuhan Sampel

Penentuan rasio komposisi sampah buah dengan sisa makanan ataupun sampah buah dengan kotoran hewan berdasarkan kadar air dan C/N. Penentuan komposisi dengan mempertimbangkan kadar air makanan larva 60-90% dan optimum pada kadar air 70,2% (Zheng dkk., 2011). Penentuan komposisi juga mempertimbangkan rentang rasio 20-40 agar hasil akhir mencapai rentang 10-20 (Rynk dkk., 1992). Perhitungan kadar air dan rasio C/N dapat dilihat di bawah ini.

Diketahui:

Kebutuhan sampah = 20 g (berat basah)

C/N sampah buah	= 35
C/N sisa makanan	= 15
C/N kotoran ayam	= 14
N dalam sampah buah	= 1,4%
N dalam sisa makanan	= 2,4%
N dalam kotoran ayam	= 2,7%
Kadar air sampah buah	= 80%
Kadar air sisa makanan	= 69%
Kadar air kotoran ayam	= 40%
(Sumber: Rynk dkk., 1992)	

Komposisi Sampah Buah:Sisa Makanan

- 90:10

Kebutuhan sampah buah	= 90% x 20 g	= 36 g
Berat air	= 80% x 36 g	= 28,8 g
Berat kering	= 36 g - 28,8 g	= 7,2 g
Kandungan N	= 1,4% x 7,2 g	= 0,1 g
Kandungan C	= 35 x 0,1 g	= 3,5 g
Kebutuhan sisa makanan	= 10% x 40 g	= 4 g
Berat air	= 69% x 4 g	= 2,8 g
Berat kering	= 4 g - 2,8 g	= 1,2 g
Kandungan N	= 2,4% x 1,2 g	= 0,03 g
Kandungan C	= 15 x 0,03 g	= 0,45 g
C/N campuran	$= \frac{(C \text{ sisa makanan} + C \text{ sampah buah})}{(N \text{ sisa makanan} + N \text{ sampah buah})}$ $= \frac{(0,45 + 3,53)}{(0,03 + 0,10)}$ $= 30,44 \rightarrow \text{Rentang 20-40}$ <p>(memenuhi)</p>	
Kadar air campuran	$= \frac{(\text{Berat air sampah buah} + \text{Berat air sisa makanan})}{\text{Massa total}} \times 100\%$	

$$= \frac{(28,8 + 2,76) \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 78,9\% \rightarrow \text{Rentang 60-90\%}$$

(memenuhi)

- 80:20

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan sampah buah} &= 80\% \times 40 \text{ g} &= 32 \text{ g} \\ \text{Berat air} &= 80\% \times 32 \text{ g} &= 25,6 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat kering} &= 32 \text{ g} - 25,6 \text{ g} \\ &= 6,4 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan N} &= 1,4\% \times 6,4 \text{ g} \\ &= 0,09 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan C} &= 35 \times 0,09 \text{ g} \\ &= 3,14 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan sisa makanan} &= 20\% \times 40 \text{ g} &= 8 \text{ g} \\ \text{Berat air} &= 69\% \times 8 \text{ g} &= 5,52 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat kering} &= 8 \text{ g} - 5,52 \text{ g} \\ &= 2,48 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan N} &= 2,4\% \times 2,48 \text{ g} \\ &= 0,06 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan C} &= 15 \times 0,06 \text{ g} \\ &= 0,89 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C/N campuran} &= \frac{(\text{C sisa makanan} + \text{C sampah buah})}{(\text{N sisa makanan} + \text{N sampah buah})} \\ &= \frac{(0,89 + 3,14)}{(0,06 + 0,09)} \end{aligned}$$

$$= 27,02 \rightarrow \text{Rentang 20-40}$$

(memenuhi)

$$\begin{aligned} \text{Kadar air campuran} &= \frac{(\text{Berat air sampah buah} + \text{Berat air sisa makanan})}{\text{Massa total}} \times 100\% \\ &= \frac{(25,6 + 2,48) \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 77,8\% \rightarrow \text{Rentang 60-90\%}$$

(memenuhi)

- 70:30

$$\text{Kebutuhan sampah buah} = 70\% \times 40 \text{ g} = 28 \text{ g}$$

$$\text{Berat air} = 80\% \times 28 \text{ g} = 22,4 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = 28 \text{ g} - 22,4 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5,6 \text{ g} \\
 \text{Kandungan N} &= 1,4\% \times 5,6 \text{ g} \\
 &= 0,08 \text{ g} \\
 \text{Kandungan C} &= 35 \times 0,08 \text{ g} \\
 &= 2,74 \text{ g} \\
 \text{Kebutuhan sisa makanan} &= 30\% \times 40 \text{ g} = 12 \text{ g} \\
 \text{Berat air} &= 69\% \times 12 \text{ g} = 8,28 \text{ g} \\
 \text{Berat kering} &= 14 \text{ g} - 8,28 \text{ g} \\
 &= 3,72 \text{ g} \\
 \text{Kandungan N} &= 2,4\% \times 3,72 \text{ g} \\
 &= 0,09 \text{ g} \\
 \text{Kandungan C} &= 15 \times 0,09 \text{ g} \\
 &= 1,34 \text{ g} \\
 \text{C/N campuran} &= \frac{(\text{C sisa makanan} + \text{C sampah buah})}{(\text{N sisa makanan} + \text{N sampah buah})} \\
 &= \frac{(1,34 + 2,74)}{(0,09 + 0,8)} \\
 &= 24,35 \rightarrow \text{Rentang 20-40} \\
 &\quad (\text{memenuhi}) \\
 \text{Kadar air campuran} &= \frac{(\text{Berat air sampah buah} + \text{Berat air sisa makanan})}{\text{Massa total}} \times 100\% \\
 &= \frac{(22,4 + 8,28) \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\% \\
 &= 76,7\% \rightarrow \text{Rentang 60-90\%} \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Komposisi Sampah Buah:Kotoran Ayam

- 90:10
 - Kebutuhan sampah buah = $90\% \times 40 \text{ g} = 36 \text{ g}$
 - Berat air = $80\% \times 36 \text{ g} = 28,8 \text{ g}$
 - Berat kering = $36 \text{ g} - 28,8 \text{ g} = 7,2 \text{ g}$
 - Kandungan N = $1,4\% \times 7,2 \text{ g} = 0,1 \text{ g}$
 - Kandungan C = $35 \times 0,1 \text{ g} = 3,5 \text{ g}$
 - Kebutuhan kotoran ayam = $10\% \times 40 \text{ g} = 4 \text{ g}$
 - Berat air = $40\% \times 4 \text{ g} = 1,6 \text{ g}$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat kering} &= 4 \text{ g} - 1,6 \text{ g} \\
 &= 2,4 \text{ g} \\
 \text{Kandungan N} &= 2,7\% \times 2,4 \text{ g} \\
 &= 0,07 \text{ g} \\
 \text{Kandungan C} &= 14 \times 0,07 \text{ g} \\
 &= 0,91 \text{ g} \\
 \text{C/N campuran} &= \frac{(\text{C kotoran ayam} + \text{C sampah buah})}{(\text{N kotoran ayam} + \text{N sampah buah})} \\
 &= \frac{(0,91 + 3,53)}{(0,07 + 0,10)} \\
 &= 26,78 \rightarrow \text{Rentang 20-40} \\
 &\text{(memenuhi)} \\
 \text{Kadar air campuran} &= \frac{(\text{Berat air sampah buah} + \text{Berat air kotoran ayam})}{\text{Massa total}} \times 100\% \\
 &= \frac{(28,8 + 1,6) \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\% \\
 &= 76\% \rightarrow \text{Rentang 60-90\%} \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- 80:20

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan sampah buah} &= 80\% \times 40 \text{ g} &= 32 \text{ g} \\
 \text{Berat air} &= 80\% \times 32 \text{ g} &= 25,6 \text{ g} \\
 \text{Berat kering} &= 32 \text{ g} - 25,6 \text{ g} \\
 &= 6,4 \text{ g} \\
 \text{Kandungan N} &= 1,4\% \times 6,4 \text{ g} \\
 &= 0,09 \text{ g} \\
 \text{Kandungan C} &= 35 \times 0,09 \text{ g} \\
 &= 3,14 \text{ g} \\
 \text{Kebutuhan kotoran ayam} &= 20\% \times 40 \text{ g} &= 8 \text{ g} \\
 \text{Berat air} &= 40\% \times 8 \text{ g} &= 3,2 \text{ g} \\
 \text{Berat kering} &= 8 \text{ g} - 3,2 \text{ g} \\
 &= 4,8 \text{ g} \\
 \text{Kandungan N} &= 2,7\% \times 4,8 \text{ g} \\
 &= 0,13 \text{ g} \\
 \text{Kandungan C} &= 14 \times 0,13 \text{ g} \\
 &= 1,81 \text{ g} \\
 \text{C/N campuran} &= \frac{(\text{C kotoran ayam} + \text{C sampah buah})}{(\text{N kotoran ayam} + \text{N sampah buah})}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{(1,81 + 3,14)}{(0,13 + 0,09)}$$

$$= 22,58 \rightarrow \text{Rentang 20-40}$$

(memenuhi)

Kadar air campuran

$$= \frac{(\text{Berat air sampah buah} + \text{Berat air kotoran ayam})}{\text{Massa total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(25,6 + 3,2) \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 72\% \rightarrow \text{Rentang 60-90\%}$$

(memenuhi)

- 70:30

Kebutuhan sampah buah = $70\% \times 40 \text{ g} = 28 \text{ g}$

Berat air = $80\% \times 28 \text{ g} = 22,4 \text{ g}$

Berat kering = $28 \text{ g} - 22,4 \text{ g}$

$$= 5,6 \text{ g}$$

Kandungan N = $1,4\% \times 5,6 \text{ g}$

$$= 0,08 \text{ g}$$

Kandungan C = $35 \times 0,08 \text{ g}$

$$= 2,74 \text{ g}$$

Kebutuhan kotoran ayam = $30\% \times 40 \text{ g} = 12 \text{ g}$

Berat air = $40\% \times 12 \text{ g} = 4,8 \text{ g}$

Berat kering = $12 \text{ g} - 4,8 \text{ g}$

$$= 7,2 \text{ g}$$

Kandungan N = $2,7\% \times 7,2 \text{ g}$

$$= 0,19 \text{ g}$$

Kandungan C = $14 \times 0,19 \text{ g}$

$$= 2,72 \text{ g}$$

C/N campuran = $\frac{(\text{C kotoran ayam} + \text{C sampah buah})}{(\text{N kotoran ayam} + \text{N sampah buah})}$

$$= \frac{(2,72 + 2,74)}{(0,19 + 0,8)}$$

$$= 20,04 \rightarrow \text{Rentang 20-40}$$

$$= 20,04 \rightarrow \text{Rentang 20-40}$$

(memenuhi)

Kadar air campuran

$$= \frac{(\text{Berat air sampah buah} + \text{Berat air kotoran ayam})}{\text{Massa total}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(22,4 + 4,8) \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\% \\
 &= 68\% \rightarrow \text{Rentang 60-90\%} \\
 &(\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Berat kering sampah diketahui melalui pemanasan sejumlah sampel sampah pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam (Diener, 2010). Hasil pengukuran berat kering sampah digunakan untuk menghitung berat basah sampah yang akan diberikan sebagai makanan larva. Berat kering yang diberikan tiap harinya kepada larva sebesar 40 mg/larva.hari (Saragi, 2015). Perhitungan kebutuhan sampel selanjutnya berdasarkan kebutuhan larva yang digunakan.

Skala Laboratorium

Kebutuhan larva yang digunakan sebanyak 200 ekor. Jumlah larva yang digunakan disesuaikan dengan kepadatan larva dalam reaktor. Kepadatan larva agar dapat berkembang optimum adalah sebesar 5 ekor/cm². Pemberian makanan pada skala laboratorium dilaksanakan setiap hari. Perhitungan kebutuhan sampel per harinya didasarkan pada perhitungan berikut.

Diketahui:

Kebutuhan larva = 200 ekor
 Kebutuhan makanan per larva = 40 mg/ekor (berat kering)
 Kebutuhan makanan larva = 200 ekor x 40 mg/ekor
 = 8000 mg
 = 8 g

- Sisa makanan 100 (Kontrol)
 Sisa makanan = 100% x 8 g = 8 g
- Buah 100 (Kontrol)
 Buah = 100% x 8 g = 8 g
- Kotoran ayam 100 (Kontrol)
 Kotoran ayam = 100% x 8 g = 8 g
- Buah:Sisa makanan = 90:10
 Buah = 90% x 8 g = 7,2 g
 Sisa makanan = 10% x 8 g = 0,8 g
- Buah:Sisa makanan = 80:20

Buah	= 80% x 8 g	= 6,4 g
Sisa makanan	= 20% x 8 g	= 1,6 g
• Buah:Sisa makanan = 70:30		
Buah	= 70% x 8 g	= 5,6 g
Sisa makanan	= 30% x 8 g	= 2,4 g
• Buah: Kotoran ayam= 90:10		
Buah	= 90% x 8 g	= 7,2 g
Kotoran ayam	= 10% x 8 g	= 0,8 g
• Buah: Kotoran ayam = 80:20		
Buah	= 80% x 8 g	= 6,4 g
Kotoran ayam	= 20% x 8 g	= 1,6 g
• Buah: Kotoran ayam= 70:30		
Buah	= 70% x 8 g	= 5,6 g
Kotoran ayam	= 30% x 8 g	= 2,4 g

Kebutuhan sampel secara keseluruhan dapat dilihat pada perhitungan ini.

Buah	= ((7,2 + 6,4 + 5,6) x 2) + 8 = 46,4 g
Dilakukan dalam 2 kali pengulangan	
	= 46,4 g x 2 = 92,8 g/hari
Sisa makanan	= (0,8 + 1,6 + 2,4) g = 4,8 g
Dilakukan dalam 2 kali pengulangan	
	= (4,8 g x 2) + 8 g (kontrol)
	= 17,6 g/hari
Kotoran ayam	= (0,8 + 1,6 + 2,4) g = 4,8 g
Dilakukan dalam 2 kali pengulangan	
	= (4,8 g x 2) + 8 g (kontrol)
	= 17,6 g/hari

Skala Pilot

Penelitian skala pilot dilaksanakan dalam 2 tahap. Skala pilot tahap I dilaksanakan pada reaktor berjumlah 2 buah (termasuk replikasi) dengan sampah yang digunakan sesuai dengan skala laboratorium. Sedangkan skala pilot tahap II dilaksanakan pada reaktor berjumlah 36 buah dengan sampah yang digunakan disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Kebutuhan larva yang digunakan sebanyak 10.000 ekor. Jumlah larva yang digunakan disesuaikan dengan kepadatan larva dalam

reaktor. Perhitungan kebutuhan sampel per harinya didasarkan pada perhitungan berikut.

Diketahui:

Kebutuhan larva = 10.000 ekor
 Kebutuhan makanan per larva = 40 mg/ekor (berat kering)
 Kebutuhan makanan larva = 10.000 ekor x 40 mg/ekor
 = 400.000 mg
 = 400 g

Komposisi makanan yang diberikan belum dapat ditentukan. Kebutuhan per komposisi untuk skala pilot dapat diketahui saat hasil dari skala laboratorium didapat. Frekuensi pemberian makan untuk skala pilot dilakukan 3 kali selama masa penelitian. Waktu pemberian makan dilaksanakan pada hari ke 0, 4 dan 7.

3.4.5 Teknologi Komposting dengan Larva BSF

Penelitian akan dilakukan dengan 2 (dua) variabel. Variabel pertama berdasarkan kombinasi jenis sampah dan variabel kedua berdasarkan rasio komposisinya. Perlakuan kontrol sama seperti sampel uji. Data penggunaan reaktor dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jenis Perlakuan Antara Variasi Komposisi dan Jenis Sampah

Reaktor	Jenis Sampah	Jumlah Larva	Frekuensi Pemberian Makan	Jumlah Pengulangan
Penelitian Skala Laboratorium				
K1	Sampah buah (kontrol)	200	Sekali dalam sehari	1
K2	Kotoran ayam (kontrol)	200	Sekali dalam sehari	1
K3	Sampah sisa makanan (kontrol)	200	Sekali dalam sehari	1
Sampah buah:Sisa makanan				
SM1	90:10	200	Sekali dalam sehari	2
SM2	80:20	200	Sekali dalam sehari	2
SM3	70:30	200	Sekali dalam sehari	2
Sampah buah:Kotoran hewan				
KA1	90:10	200	Sekali dalam sehari	2
KA2	80:20	200	Sekali dalam sehari	2

Reaktor	Jenis Sampah	Jumlah Larva	Frekuensi Pemberian Makan	Jumlah Pengulangan
KA3	70:30	200	Sekali dalam sehari	2
Penelitian Skala Pilot Tahap I				
P1	Campuran terpilih	10k	3 kali selama penelitian	2
Penelitian Skala Pilot Tahap II				
K1	Kontrol 1	10k	3 kali selama penelitian	12
K2	Kontrol 2	10k	3 kali selama penelitian	12
P1	Campuran terpilih	10k	3 kali selama penelitian	12
Jumlah Total				53

Pemberian makanan dilakukan sekali sehari dengan jumlah 40 mg/larva dalam berat kering. Setiap harinya harus dilakukan kontrol rutin yang mencakup pengukuran suhu dan kelembaban udara (Popa dan Green, 2012). Kontrol rutin juga dilakukan untuk mengamati perubahan fisik pada sampah dan perubahan fisik pada larva seperti adanya larva yang mati, keluar dari reaktor, ataupun larva yang sudah berubah menjadi prapupa. Setiap keadaan dan perubahan yang terjadi harus dicatat setiap harinya sebagai data untuk dianalisis pada saat pembuatan laporan.

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa bagian. Pertama kualitas akhir larva yang meliputi hasil penambahan berat larva, pengukuran berat kering larva dan pengukuran kandungan protein larva. Kedua hasil reduksi sampah. Ketiga kualitas akhir produk dekomposisi yang meliputi beberapa parameter. Parameter tersebut yaitu kadar air, pH, suhu, kadar N organik, kadar C organik dan nilai rasio C/N.

- **Penambahan Berat Larva**

Pengukuran berat tubuh larva untuk skala laboratorium dilaksanakan tiap tiga hari sedangkan untuk skala pilot dilaksanakan pada hari ke 0, 5, 10 dan 14. Pengukuran dalam skala laboratorium dilakukan terhadap 20 ekor larva yang hidup tiap reaktor, sebagai representasi penambahan berat larva secara keseluruhan dalam satu reaktor (Diener, 2010).

Pengukuran dalam skala pilot tahap I sama seperti skala laboratorium dengan menimbang 20 ekor larva dari masing-masing reaktor. Pengukuran dalam skala pilot tahap II dilakukan dengan metode komposit yaitu menimbang masing-masing 2 ekor larva dari 12 reaktor untuk tiap komposisinya.

- Pengukuran Berat Kering Larva

Pengukuran berat kering larva BSF pada skala laboratorium dilakukan pada hari ke 0, 5, 10 dan 14. Menurut Diener (2010), penambahan berat larva secara akurat dapat diukur berat keringnya. Pengukuran kadar air untuk skala laboratorium dilakukan dengan mengambil 10 ekor larva BSF lalu dioven pada suhu 105°C dalam waktu 24 jam. Kemudian didiamkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang menggunakan neraca analitik dan didapat berat kering. Pada pengukuran berat kering untuk skala pilot dilakukan pada hari ke 0, 4, 7, 10 dan 14. Semua larva dari pengukuran penambahan berat pada skala pilot, dioven pada suhu 105°C dalam waktu 24 jam. Kemudian didiamkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang menggunakan neraca analitik.

- Pengukuran Kandungan Protein Larva

Pengukuran kandungan protein dilakukan pada akhir penelitian. Larva yang diukur pada skala laboratorium adalah larva pada reaktor yang memiliki tingkat reduksi terbesar per komposisi. Pengukuran untuk skala laboratorium dilakukan terhadap 2 sampel yaitu masing-masing untuk komposisi campuran sisa makanan dan komposisi campuran kotoran ayam. Pengukuran kandungan protein larva untuk skala pilot dilakukan terhadap larva pada semua reaktor. Metode yang digunakan adalah penentuan kadar protein dengan metode total nitrogen pada produk perikanan (SNI 01-2354.4-2006). Metode total nitrogen ini hampir sama seperti metode kjeldahl dengan metode analisis kuantitatif berdasarkan reaksi penetralan asam basa. Prosedur percobaan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.

- Tingkat Reduksi Sampah

Penentuan reduksi sampah berdasarkan besar residu yang dihasilkan saat akhir penelitian yaitu pada hari ke 14. Sebelum residu ditimbang, larva yang tercampur dipisahkan dari campuran. Persentase reduksi sampah dihitung berdasarkan

berat akhir dengan berat total sampel dalam reaktor. Tingkat reduksi sampah dapat diketahui dari hasil perhitungan menggunakan rumus (2.2) dan (2.3) menurut Diener (2010).

- Kadar Air

Pengukuran untuk skala laboratorium dilakukan tiap tiga hari sedangkan pengukuran untuk skala pilot dilakukan pada hari ke 0, 5, 10 dan 14. Pengukuran kadar air dilakukan dengan mengambil ± 10 g sampel dari reaktor yang kemudian dipanaskan selama 24 jam menggunakan oven (AOAC, 1990). Prosedur percobaan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.

- pH

Pada penelitian skala laboratorium, pH diukur setiap hari. Sedangkan pada penelitian skala pilot, pengukuran pH dilaksanakan pada hari ke 0, 5, 10 dan 14. Pengukuran pH sampah dengan mengambil sampah yang tersisa di reaktor sebelum proses *feeding*. Pengukuran pH ini diperlukan untuk melihat pengaruh penggunaan larva BSF pada perubahan pH yang mungkin terjadi pada sampah. Pengukuran pH mengacu pada AOAC (1990) yaitu dengan menggunakan pH meter. Prosedur percobaan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.

- Suhu

Data suhu didapatkan dari pengukuran yang dilakukan dengan metode termometrik (Yuwono, 2005). Pada penelitian skala pilot pengukuran dilakukan pada hari ke 0, 4, 7, 10 dan 14. Sedangkan pada penelitian skala laboratorium pengukuran dilakukan setiap hari agar data yang didapatkan lebih akurat dan bisa mengetahui fluktuasi suhu berdasarkan fungsi waktu. Pengukuran suhu menggunakan alat termometer dengan kedalaman pengukuran setengah dari tinggi masing-masing tumpukan campuran material. Selain pada material dalam reaktor, suhu ruangan juga diukur sebagai pembanding.

- Total C organik

Kandungan C organik dianalisis dengan menggunakan metode Walkey and Black (Thom dan Utomo, 1991). Analisis ini dilakukan pada tahap awal dan akhir penelitian. Analisis dilakukan pada campuran di awal penelitian dan residu di akhir

penelitian. Prosedur percobaan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.

- Total N organik

Kandungan total N organik dalam kompos dianalisis dengan metode semi mikro Kjeldahl (Thom dan Utomo, 1991). Pengukuran ini dilakukan pada tahap awal dan akhir penelitian. Analisis dilakukan pada campuran di awal penelitian dan residu di akhir penelitian. Prosedur percobaan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.

- Nilai Rasio C/N

Nilai rasio C/N dilakukan dengan membandingkan total C organik dengan total N organik pada material dan residu sampah. Pengukuran rasio C/N dilakukan di awal dan di akhir penelitian. Rasio C/N yang efektif untuk proses awal berkisar antara 20-40. Rasio C/N yang efektif untuk akhir penelitian sesuai dengan SNI 19-7030-2004 yaitu berkisar antara 10-20.

Sehingga dari uraian di atas dapat disimpulkan metode pengumpulan data sesuai Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Metode Pengumpulan Data

No	Parameter	Metode	Sumber
1	Penambahan berat larva	Penimbangan	Diener, 2010
2	Berat kering larva	Perhitungan Berat Kering	Diener, 2010
3	Kandungan protein larva	Total Nitrogen	SNI 01-2354.4-2006
4	Tingkat reduksi sampah	Perhitungan WRI	Diener, 2010
5	Kadar air sampah	AOAC	AOAC, 1990
6	pH sampah	AOAC	AOAC, 1990
7	Suhu sampah	Termometrik	Yuwono, 2005
8	Total C organik sampah	Walkey and Black	Thom dan Utomo, 1991
9	Total N organik sampah	Semi mikro Kjeldahl	Thom dan Utomo, 1991
10	Rasio C/N	Perbandingan	-

3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dari hasil penelitian ini dilakukan berdasarkan dari tujuan awal penelitian, yaitu untuk menentukan

komposisi sampah yang menghasilkan tingkat reduksi sampah tertinggi dengan memanfaatkan larva BSF. Komposisi yang memiliki reduksi sampah terbesar kemudian digunakan untuk komposisi sampah pada skala pilot. Penerapan dalam skala pilot digunakan sebagai solusi dalam reduksi sampah di Puspa Agro secara berkelanjutan. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode statistik sederhana. Metode statistik meliputi penyajian data dalam tabel yang kemudian diubah menjadi grafik. Data yang didapat kemudian diuji menggunakan uji statistik anova *one ways*. Hasil yang diperoleh nantinya akan dibahas dalam pembahasan.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah melakukan analisis data dan pembahasan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dan berdasarkan pada tujuan yang dirumuskan pada awal penelitian. Kesimpulan harus didasarkan pada fakta yang diperoleh selama penelitian. Pemberian saran dilakukan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian mengenai pemanfaatan BSF untuk reduksi sampah ke depannya.

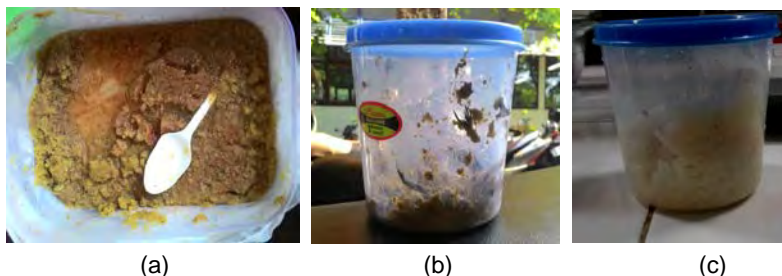
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Sampel Sampah

Sampel sampah yang digunakan ada 2 (dua) macam campuran, yaitu campuran sampah buah dan sisa makanan serta campuran sampah buah dan kotoran ayam (Gambar 4.1). Sebagai kontrol digunakan sampel sampah buah, sisa makanan dan kotoran ayam. Sampah diperoleh dari beberapa tempat, sampah buah diperoleh dari Pasar Pucang, sisa makanan diperoleh dari kantin Teknik Lingkungan dan warung sekitaran Gebang, serta kotoran ayam diperoleh dari Pasar Keputran. Sampel sampah buah yang digunakan adalah semangka busuk yang harus dihaluskan terlebih dahulu menggunakan blender tanpa dipisahkan kulitnya. Sisa makanan yang digunakan adalah hasil pemilahan untuk diambil nasi atau mi yang kemudian dilumatkan menggunakan sendok. Kotoran ayam tidak perlu dihaluskan karena tekstur yang cukup halus. Sampel sampah yang telah dihaluskan dicampur sesuai rasio komposisi yang diinginkan. Pengambilan dan persiapan sampel sampah dilakukan setiap hari sebelum melakukan *feeding*.



Gambar 4. 1 Sampel Sampah yang Digunakan: (a) Sampah Buah; (b) Kotoran Ayam; (c) Sisa Makanan

4.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk memperoleh data awal yang diperlukan pada penelitian. Data tersebut adalah karakteristik sampah yang meliputi kadar air, pH awal dan nilai

kandungan organik C dan N dari sampah dari tiap jenis sampel sampah yang digunakan.

4. 2.1 Pengukuran Kadar Air Sampel Sampah

Pengukuran kadar air dilakukan pada sampel sampah yang akan digunakan sebagai campuran pada penelitian. Kadar air sampah diperoleh dari pengukuran berat kering sampah. Kadar air perlu diketahui untuk menghitung berat basah kebutuhan makanan larva untuk tiap jenis sampah. Data pengukuran kadar air awal yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Kadar Air Sampel Sampah

No	Sampel	Kadar Air (%)
1	Sampah Buah	96,1
2	Kotoran Ayam	72,2
3	Sisa Makanan	66,0

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sampah buah memiliki kadar air yang paling tinggi yaitu 96,1% dan sampah sisa makanan memiliki kadar air terendah yaitu 66,0%. Menurut Zheng dkk. (2011), komposisi optimum makanan larva dengan rentang kadar air 60-90%. Sehingga memungkinkan apabila terjadi pencampuran masing-masing komposisi sampah pada rentang kadar air kebutuhan larva. Berdasarkan kadar air dan berat kering, berat basah kebutuhan makan larva dapat dihitung.

4. 2.2 Pengukuran pH Awal Sampel Sampah

Pengukuran pH awal sampah perlu diketahui untuk melihat pengaruh pH terhadap kemampuan larva dalam mendekomposisi sampah. Data pH akan dibandingkan tiap harinya hingga akhir untuk mengetahui pengaruhnya terhadap reduksi sampah. Hasil pengukuran pH awal sampah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Tingkat Keasaman pH Sampel Sampah

No	Sampel	pH
1	Sampah Buah	4,05
2	Kotoran Ayam	7,65
3	Sisa Makanan	5,09

Dari Tabel 4.2, sampah buah memiliki pH terendah yaitu sebesar 4,05 tidak jauh berbeda dengan sisa makanan yang juga memiliki pH asam sebesar 5,09. Kotoran ayam memiliki pH yang sedikit basa yaitu sebesar 7,65. Menurut Joseph dan Phillip (2009), pH yang optimum bagi kehidupan makhluk hidup dalam mendegradasi bahan organik adalah 5,0-8,0. Sehingga pH dari sampel sampah kotoran ayam dan sisa makanan berada pada rentang kebutuhan lingkungan makhluk hidup mampu mendegradasi. Menurut Bautista dkk. (2011), pH yang tidak memungkinkan untuk naik ($\text{pH} < 4$) dikhawatirkan dapat menghambat mikroorganisme untuk membantu mendegradasi. Sampah buah berada pada pH di atas nilai 4 sehingga masih dapat digunakan dan tidak menghambat kerja mikroorganisme.

4. 2.3 Pengukuran Rasio C/N Awal Sampel Sampah

Pengujian kandungan C dan N awal sampah perlu dilakukan untuk dibandingkan di akhir penelitian terhadap kandungan C dan N residu. Hasil analisis C-organik, TKN dan Rasio C/N dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 Analisis C-organik, TKN dan Rasio C/N Awal Sampel Sampah

No	Sampel	C-organik (%)	TKN (%)	C/N
1	Sampah Buah	33,3	0,9	37,1
2	Kotoran Ayam	37,6	2,0	18,8
3	Sisa Makanan	35,4	1,7	21,0

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa sampah buah memiliki rasio C/N tertinggi yaitu sebesar 37,1. Kotoran ayam memiliki rasio C/N terendah dari ketiga sampel yaitu sebesar 18,8. Bahan utama dalam proses komposting harus memiliki rentang C/N 20-40 agar hasil akhirnya dapat memenuhi rasio C/N pada rentang 10-20 (Rynk dkk., 1992). Sampel sampah buah dan sisa makanan memenuhi rentang C/N bahan utama untuk proses komposting. Sampel kotoran ayam dianggap memenuhi syarat untuk bahan baku komposting karena selisihnya yang tidak begitu jauh.

4.3 Hasil Analisis Penelitian Skala Laboratorium

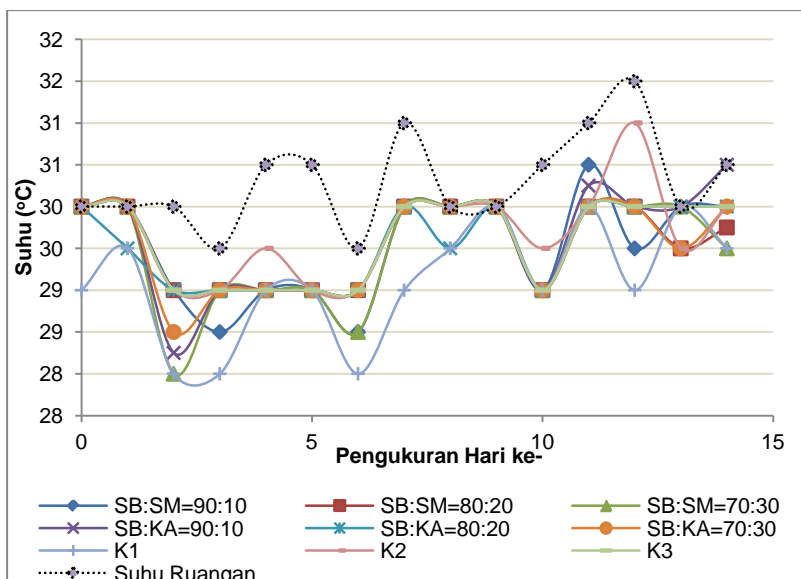
Pelaksanaan penelitian dalam skala laboratorium dilaksanakan selama 14 hari di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Reaktor diletakkan di *workshop* dan dikondisikan gelap dengan ditutup dengan kain hitam (Gambar 4.2). Hal ini dilakukan karena menurut Diener (2010), larva BSF tidak menyukai cahaya sehingga perlu diletakkan di tempat gelap agar larva tidak berusaha keluar. Selama 14 hari dilakukan *feeding* setiap hari dan pengamatan terhadap beberapa parameter. Parameter tersebut meliputi penambahan berat larva, berat kering larva, kandungan protein larva, suhu dan pH sampah, kadar air sampah, rasio C/N dan reduksi sampah.



Gambar 4. 2 Penempatan Reaktor Penelitian

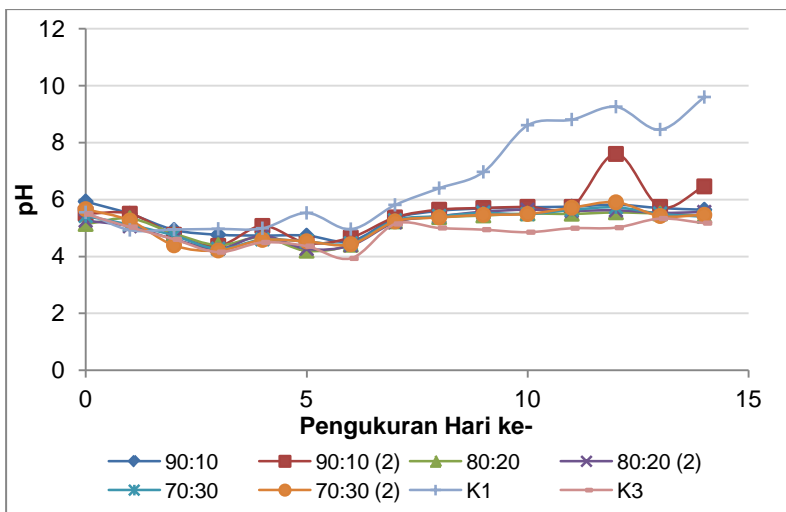
4.3.1 Suhu dan pH Sampah

Pengukuran suhu dan pH sampah dilakukan setiap hari. Pengukuran dilakukan pada sampah yang tersisa di reaktor sebelum proses *feeding*. Pengukuran pH ini diperlukan untuk melihat pengaruh penggunaan larva BSF pada perubahan pH yang mungkin terjadi pada sampah. Data pengukuran suhu dan pH tiap hari yang diperoleh dapat dilihat pada Lampiran Tabel B.1. dan B.2. Grafik hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada Gambar 4.3.

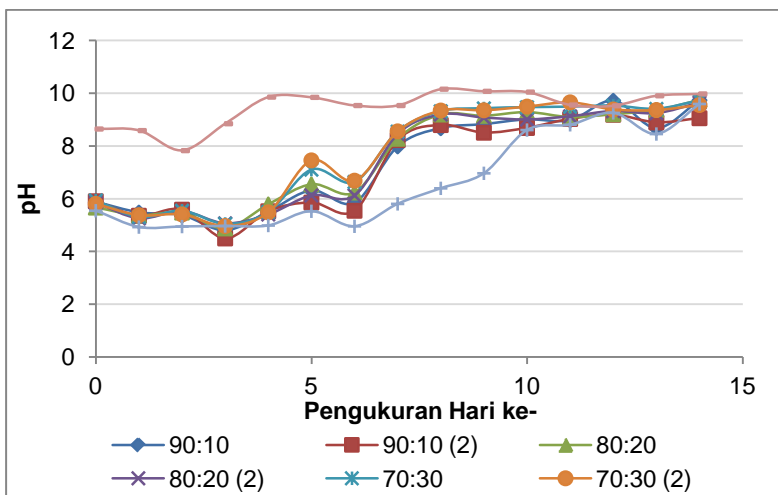


Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengukuran Suhu

Pada Gambar 4.3 berdasarkan pengukuran suhu tiap hari dapat dilihat bahwa suhu maksimum berada pada komposisi kotoran ayam 100% yaitu 31°C. Komposisi sampah buah 100% dan campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 memiliki pengukuran suhu minimum yaitu 28°C. Secara keseluruhan, seluruh sampel sampah dalam reaktor memiliki suhu yang sama dengan suhu ruangan. Suhu maksimum BSF dapat bertahan hidup adalah 45°C (Alvarez, 2012). Dari semua hasil pengukuran suhu, tidak ada yang melewati batas maksimum suhu larva dapat hidup. Sehingga dapat dikatakan bahwa sampel sampah memiliki suhu yang sesuai dengan kebutuhan larva untuk hidup. Menurut Lord dkk. (1994), fase larva akan berlangsung selama 14 hari pada suhu 30°C dan 31 hari pada suhu 27,8°C. Pengukuran suhu pada rentang 30°C sehingga larva dapat dipanen setelah tepat 14 hari. Berikut ini data pengukuran pH hasil dekomposisi oleh larva BSF dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Hasil Pengukuran Derajat Keasaman pH Campuran Sisa Makanan



Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran Derajat Keasaman pH Campuran Kotoran Ayam

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada reaktor campuran sampah buah dan sisa makanan, bahwa pada komposisi campuran memiliki pH yang hampir sama yaitu berada pada rentang 4 hingga 6. pH pada empat hari pertama mengalami penurunan, kemudian naik dan hampir konstan hingga akhir pada pH mendekati 6. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pH pada reaktor campuran sampah buah dan kotoran ayam berada pada rentang 5 hingga 10. pH pada reaktor komposisi campuran sampah buah dan kotoran ayam mengalami kenaikan dan kemudian hampir konstan pada pH mendekati 9. pH tertinggi pada reaktor kontrol terdapat pada reaktor kontrol kotoran ayam sedangkan pH terendah terdapat pada reaktor kontrol sisa makanan.

Peningkatan nilai pH disebabkan karena adanya proses sintesa protein yang dilakukan mikroorganisme sedangkan penurunan nilai pH disebabkan pelepasan kandungan protein, peptide dan asam amino dari proses degradasi (Tchobanoglous dkk., 1993). Proses degradasi oleh larva yang optimum berada pada pH 5,0-8,0 (Alvarez, 2012). Komposisi yang memiliki nilai pH di luar rentang optimum masih memungkinkan untuk terjadinya proses degradasi. Larva dapat bertahan pada pH yang paling asam ($\text{pH} = 2$) dan pH yang paling basa ($\text{pH} = 9$) (Sipayung, 2015). Kondisi pH selama proses penelitian tidak berpengaruh terhadap fase hidup larva hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya larva yang mati selama penelitian.

4.3.2 Kadar Air Sampah

Berat kering pada sampel sampah diukur dengan cara mengetahui kadar air pada sampah. Sehingga nantinya persentase reduksi sampah dapat dihitung dalam kondisi kering tanpa ada pengaruh kadar air. Pengukuran kadar air dilakukan pada sampel makanan larva dan juga pada sampah dalam reaktor. Berikut hasil pengukuran kadar air sampah dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Kadar Air Sampah

No	Jenis Sampah	Kadar Air (%)			
		Hari ke-0	Hari ke-5	Hari ke-10	Hari ke-14
1	SB:SM=90:10	88,8	79,4	88,8	83,3

No	Jenis Sampah	Kadar Air (%)			
		Hari ke-0	Hari ke-5	Hari ke-10	Hari ke-14
2	SB:SM=80:20	84,7	73,9	89,3	82,7
3	SB:SM=70:30	88,2	73,1	92,4	72,1
4	SB:KA=90:10	90,4	76,8	83,8	95,1
5	SB:KA=80:20	88,2	92,7	89,7	84,5
6	SB:KA=70:30	81,4	92,4	81,2	77,9
7	K1	95,2	74,5	90,5	97,0
8	K2	70,4	61,2	66,8	59,2
9	K3	65,1	50,0	58,6	59,2

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa kontrol sampah buah memiliki kadar air yang tinggi dibandingkan dengan reaktor yang lainnya. Kontrol sisa makanan memiliki kadar air yang rendah dibandingkan dengan komposisi yang lainnya. Kadar air tertinggi berada pada kontrol sampah buah pada hari ke 14 sebesar 97,0% sedangkan kadar air terendah berada pada pengukuran kontrol sisa makanan hari ke 5 sebesar 50,0%. Kadar air pada hari ke 5 dan ke 14 pada beberapa reaktor mengalami penurunan dan peningkatan, hal itu disebabkan kadar air yang terlalu rendah dan tinggi pada sampel makanan yang diberikan (Lampiran B, Tabel B.3.) pada hari ke 4 dan ke 13. Selain itu, suhu dan kelembaban ruang juga turut berpengaruh karena pada hari sebelum pengukuran kelembaban mengalami kenaikan dan penurunan akibat panas hujan yang terjadi.

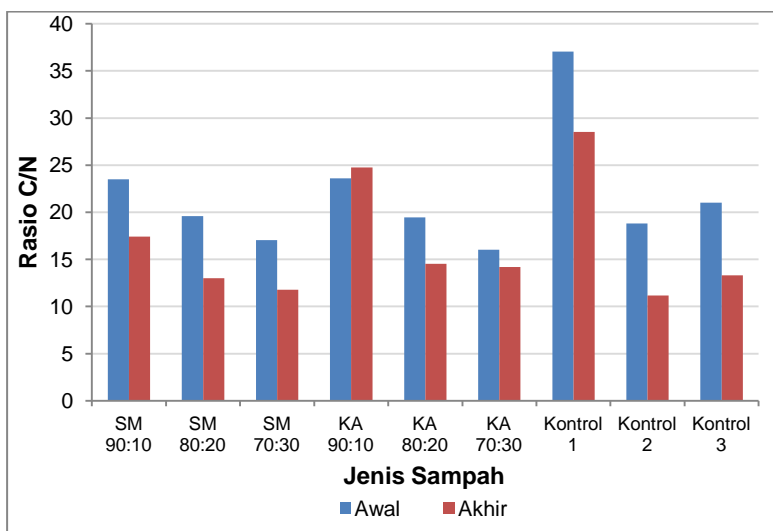
Kadar air optimum pada makanan larva BSF adalah antara 60-90% (Alvarez, 2012). Komposisi yang selalu memenuhi rentang kadar air optimum makanan larva adalah komposisi campuran sampah buah dan sisa makanan.

4.3.3 Rasio C/N

Pengukuran rasio C/N pada residu pada akhir penelitian untuk dibandingkan dengan rasio C/N di awal penelitian. Berikut hasil pengukuran rasio C/N residu dan dibandingkan dengan rasio C/N di awal (secara lengkap dapat dilihat pada Tabel B.4 pada Lampiran B) pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.6.

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Rasio C/N Residu

No	Jenis Sampah	Rasio C/N Awal	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Akhir
1	SM 90:10	23,5	9,9	0,6	17,4
2	SM 80:20	19,6	9,2	0,7	13,0
3	SM 70:30	17,1	7,5	0,6	11,8
4	KA 90:10	23,6	13,3	0,6	24,7
5	KA 80:20	19,4	10,1	0,7	14,5
6	KA 70:30	16,0	10,3	0,7	14,2
7	Kontrol 1	37,1	14,0	0,5	28,5
8	Kontrol 2	18,8	9,8	0,9	11,2
9	Kontrol 3	21,0	6,6	0,5	13,3



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan C/N Awal dan Akhir

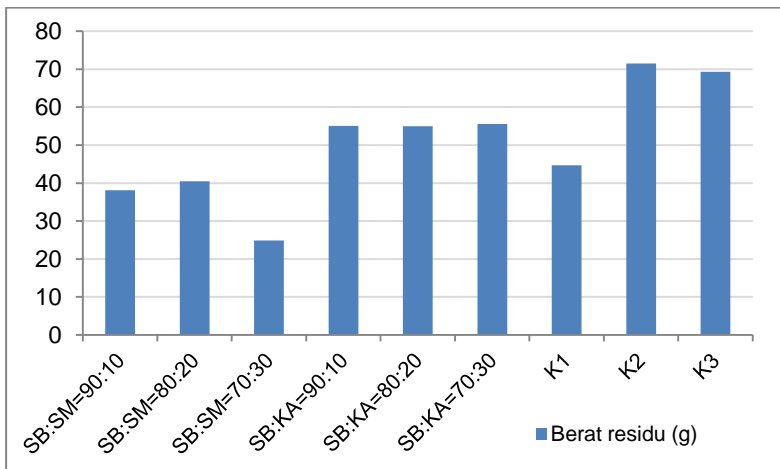
Berdasarkan Tabel 4.5 di atas, rasio C/N tertinggi berada pada kontrol sampah buah sedangkan rasio C/N terendah berada pada kontrol kotoran ayam. Dari semua sampel hanya campuran sampah buah dan kotoran ayam 90:10 yang tidak mengalami penurunan dan tidak begitu jauh dari hasil rasio C/N awal. Pada semua reaktor secara signifikan mengalami penurunan rasio C/N

diakibatkan proses konversi sampah karena aktivitas larva BSF dan bakteri di dalam sampel sampah (Diener dkk., 2011).

Menurut Surtinah (2013), rasio terendah C/N kompos berada pada angka 9,97 dengan persentase C-organik 10,5% dan persentase TKN 1,05%. Melihat hasil akhir rasio C/N yang memenuhi standar untuk kompos, sehingga residu pada proses reduksi larva BSF ini dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Akan tetapi kadar air yang masih cukup tinggi memerlukan proses lebih lanjut untuk menghilangkan kadar air. Sehingga hasil dari proses reduksi dengan larva BSF ini dapat dijadikan proses pre komposting sebelum akhirnya dapat dimanfaatkan sebagai kompos.

4.3.4 Persentase Reduksi Sampah

Persentase reduksi ditentukan dari jumlah sampel yang diberikan dan diambil dalam berat kering. Detail penambahan dan pengurangan sampah dapat dilihat pada Tabel B.5 (Lampiran B). Berdasarkan hasil penimbangan berat residu (berat basah) pada sampah campuran, didapat hasil sesuai dengan Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Berat Residu Sampah pada Reaktor

Dari data residu yang dihasilkan, didapat persentase reduksi pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Persentase Reduksi Sampah Skala Laboratorium

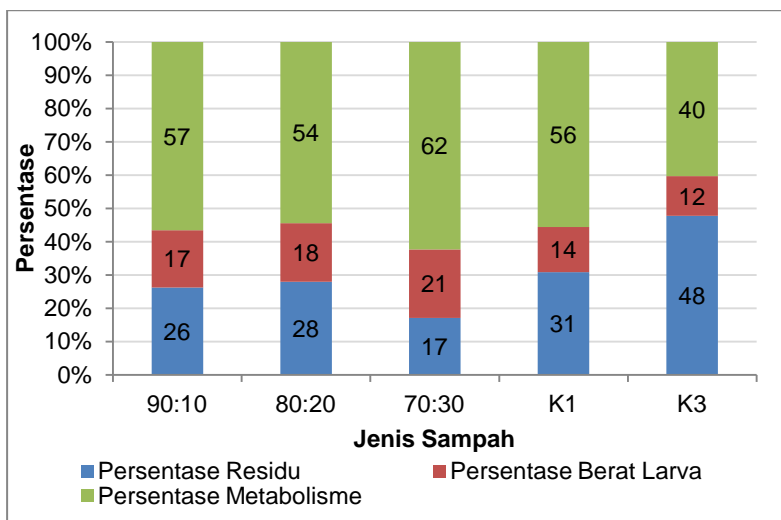
No	Sampah	Persentase Reduksi (%)
1	Sampah buah 100	69,1
2	Kotoran ayam 100	50,6
3	Sisa makanan 100	52,2
4	Sampah buah: sisa makanan 90:10	73,8 ± 4,2
5	Sampah buah: sisa makanan 80:20	72,1 ± 0,8
6	Sampah buah: sisa makanan 70:30	82,9 ± 2,5
7	Sampah buah: kotoran ayam 90:10	62,0 ± 1,7
8	Sampah buah: kotoran ayam 80:20	62,1 ± 1,0
9	Sampah buah: kotoran ayam 70:30	61,8 ± 1,4

Berdasarkan Tabel 4.6 pembahasan persentase reduksi sampah dibedakan untuk masing-masing campuran. Campuran sampah buah dan sisa makanan dengan rasio 70:30 memiliki nilai persentase reduksi tertinggi sebesar 82,9% dan rasio 80:20 memiliki nilai persentase reduksi terendah sebesar 72,1%. Campuran sampah buah dan kotoran ayam memiliki nilai persentase reduksi yang tidak terlalu jauh. Campuran sampah buah dan kotoran ayam dengan rasio 80:20 memiliki nilai persentase reduksi yang tertinggi sebesar 62,1% dan rasio 70:30 memiliki nilai persentase reduksi terendah sebesar 61,8%.. Campuran sampah buah dan sisa makanan lebih efektif dibandingkan dengan campuran sampah buah dan kotoran ayam. Nilai persentase campuran sampah buah dan kotoran ayam di bawah nilai persentase reduksi kontrol sampah buah. Sehingga dapat dikatakan tanpa pencampuran kotoran ayam, sampah buah saja mampu direduksi dengan baik oleh larva BSF.

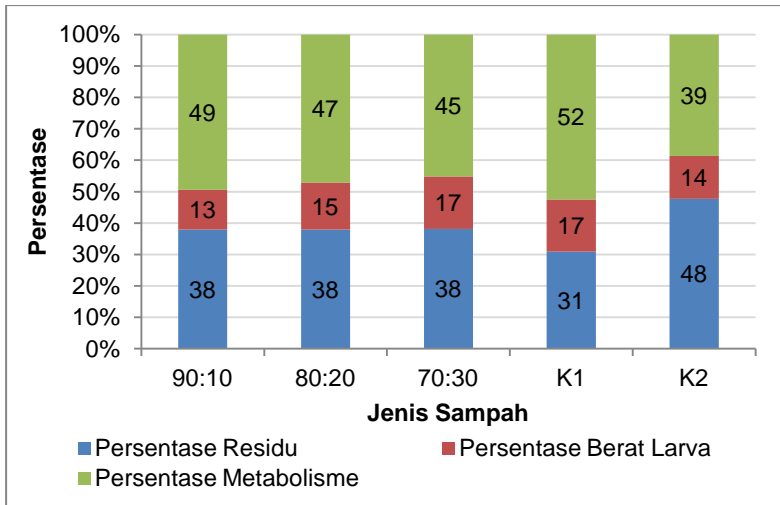
Persentase reduksi ini lebih besar dibandingkan dengan penelitian Zakova dan Borkovcova (2013), yang menghasilkan

persentase reduksi sampah rumah tangga dan sampah kebun 64% oleh larva BSF dalam skala laboratorium. Selain itu, hasil penelitian lain menghasilkan nilai persentase reduksi 56% pada penelitian Newton dkk. (2005) dengan kotoran sapi dan Sheppard dkk. (1995) sebesar minimal 50% pada beberapa jenis kotoran. Pada penelitian Katayane (2014), menghasilkan persentase reduksi pada campuran kotoran ayam petelur dan bungkil kelapa sebesar 49,5%.

Hasil dari reduksi diukur massanya untuk mengetahui besar persentase yang tersisa dari proses reduksi. Grafik untuk massa yang terbentuk pada masing-masing komposisi dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Pengukuran massa didapat dari jumlah sampah awal yang dibagi menjadi 2 bagian yaitu residu dan hasil penjumlahan berat larva serta metabolisme.



Gambar 4. 8 Grafik Presentase Keseimbangan Massa Komposisi Sampah Buah dan Sisa Makanan



Gambar 4. 9 Grafik Presentase Kesetimbangan Massa Komposisi Sampah Buah dan Kotoran Ayam

Berdasarkan Gambar 4.8 pada campuran sampah buah dan sisa makanan dari 100% sampah yang telah diberikan, sekitar $\pm 54\%$ diubah sebagai bahan untuk metabolisme, sekitar $\pm 16\%$ berada di dalam tubuh larva dan sekitar $\pm 30\%$ tersisa sebagai residu di dalam reaktor. Pada campuran sampah buah dan kotoran ayam berdasarkan Gambar 4.9, dari sampah yang telah diberikan, sekitar $\pm 46\%$ diubah sebagai bahan untuk metabolisme, sekitar $\pm 15\%$ berada di dalam tubuh larva dan sekitar $\pm 39\%$ tersisa sebagai residu di dalam reaktor. Perhitungan persentase metabolisme didapat dari hasil pengurangan 100% sampah yang masuk dengan persentase berat larva dan residu. Berdasarkan hasil presentase residu terendah dan persentase berat larva tertinggi, dapat dikatakan bahwa campuran sampah buah dan sisa makanan adalah campuran yang tepat bagi makanan larva BSF.

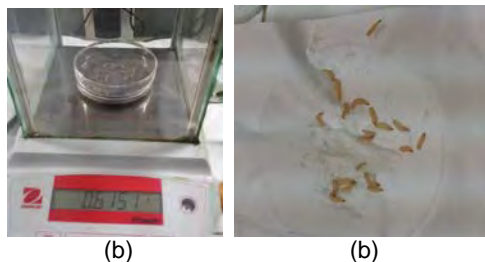
Pengaruh kadar air sampah terhadap persentase reduksi

Pembahasan pada sub bab 4.3.2 mengenai kadar air dapat dikaitkan dengan persentase reduksi sampah yang dihasilkan.

Persentase kadar air yang didapat adalah rata rata *trend* kadar air sampah selama waktu penelitian pada sub bab 4.3.2. Kadar air yang terendah yaitu pada kontrol sisa makanan dan kotoran ayam memiliki persentase reduksi terendah pula. Pada campuran sampah buah dan sisa makanan dengan kadar air 81% hingga 85%, memiliki hasil persentase reduksi yang tinggi. Pada komposisi campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 dengan kadar air 85%, menghasilkan persentase reduksi tertinggi hingga 82%. Sesuai penelitian Alvarez (2012), kadar air optimum pada makanan larva BSF adalah antara 60-90%. Sehingga berdasarkan penelitian ini dapat dikatakan bahwa larva BSF dapat mereduksi makanan secara optimum pada campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 dengan kadar air 82%.

4.3.5 Penambahan Berat Larva

Data penambahan berat larva untuk mengetahui pengaruh jenis dan rasio campuran sampah yang diberikan terhadap larva. Jumlah larva yang ditimbang konstan sebanyak 20 ekor. Pengukuran berat larva dilakukan menggunakan neraca analitik. Larva yang akan ditimbang sebelumnya diletakkan di atas kertas tisu untuk menyerap air dan makanan yang menempel pada tubuh larva sebelum kemudian diletakkan ke dalam oven selama 24 jam. Data mengenai penambahan berat didapat setelah dicari berdasarkan kadar airnya. Sehingga hasil penambahan berat lebih valid tanpa pengaruh kadar air. Gambar mengenai proses penimbangan berat larva dapat dilihat pada Gambar 4.10.



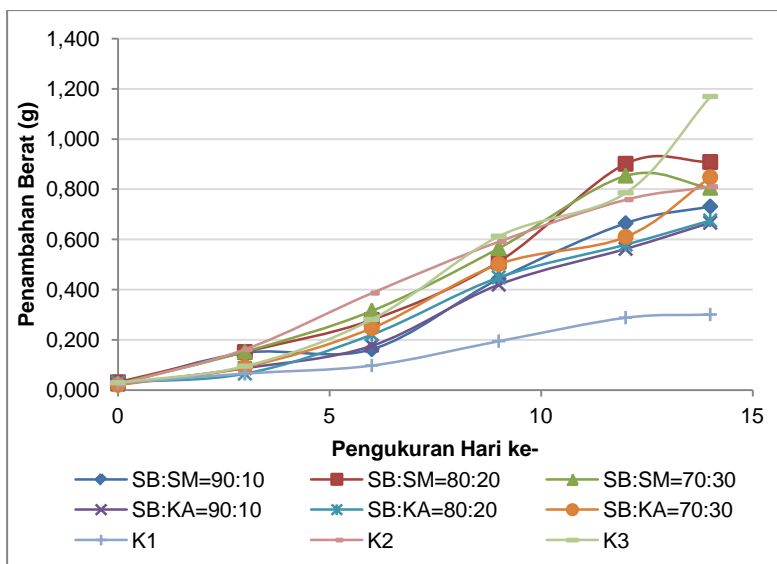
Gambar 4. 10 Pengukuran Berat Larva; (a) Penimbangan pada Neraca Analitis; (b) Pengeringan di Atas Kertas Tisu

Berikut hasil pengukuran kadar air larva dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Kadar Air Larva

No	Jenis Sampah	Kadar Air (%)			
		Hari ke-0	Hari ke-5	Hari ke-10	Hari ke-14
1	SB:SM=90:10	74,4	74,7	69,6	72,0
2	SB:SM=80:20	75,0	71,6	68,7	69,4
3	SB:SM=70:30	74,8	70,6	66,4	69,0
4	SB:KA=90:10	74,1	78,1	75,6	77,0
5	SB:KA=80:20	74,3	80,1	78,1	78,7
6	SB:KA=70:30	75,7	78,9	77,9	77,4
7	K1	74,3	79,9	77,2	78,1
8	K2	73,5	80,5	75,6	77,0
9	K3	73,7	66,9	60,6	57,6

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kadar air larva pada campuran sampah buah dan sisa makanan pada rentang $\pm 70\%$ sedangkan campuran sampah buah dan kotoran ayam hampir sama yaitu pada rentang $\pm 77\%$. Persentase kadar air dalam tubuh larva juga dipengaruhi kadar air pada makanan yang diberikan. Menurut Diener (2010), kadar air pada larva BSF yang ada pada media pakan ternak sebesar 83,3% yang menunjukkan bahwa campuran pada penelitian ini menghasilkan kadar air yang lebih rendah. Kadar air yang rendah menghasilkan berat kering yang makin tinggi. Sehingga dengan massa larva yang sama dengan kadar air yang lebih rendah, massa yang dihasilkan semakin besar. Semakin besar massa larva dalam berat kering yang dihasilkan, semakin menguntungkan dalam pengolahannya setelah proses pemanenan. Setelah diketahui kadar air larva, dapat diketahui penambahan berat larva dalam berat kering. *Trend* penambahan berat larva dalam berat kering dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Grafik Penambahan Berat Larva

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa semua komposisi campuran mengalami penambahan berat larva. Campuran sampah buah dan sisa makanan serta campuran sampah buah dan kotoran ayam pada komposisi 80:20 dan 70:30 mengalami penambahan berat larva yang terbesar. Peningkatan berat yang signifikan terjadi pada hari ke 9. Memasuki hari ke 12 peningkatan berat tidak terlalu signifikan hal ini kemungkinan larva BSF mulai mengalami penurunan porsi makan karena akan menuju fase hidup selanjutnya yaitu prapupa. Besar penambahan berat larva dapat dilihat berdasarkan persentase selisih penambahan beratnya. Data pengukuran penambahan berat larva dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Penambahan Berat Larva

Jenis Sampah	Berat Awal Larva (mg/ekor)	Berat Akhir Larva (mg/ekor)	Penambahan Berat (kali)	Penambahan Berat (mg/hr)
Campuran Sampah Buah dan Sisa Makanan				
90:10	7	261	37	18,2
80:20	6	297	50	20,7
70:30	5	260	52	18,2
Campuran Sampah Buah dan Kotoran Ayam				
90:10	4	238	60	16,7
80:20	6	220	37	15,3
70:30	4	274	69	19,3
Kontrol 1	5	137	27	9,4
Kontrol 2	4	191	48	13,3
Kontrol 3	5	276	55	19,3

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat berat akhir larva tertinggi berada pada campuran sampah buah dan sisa makanan 80:20 dengan berat akhir 297 mg/ekor sedangkan berat terendah berada pada kontrol sampah buah dengan berat akhir 137 mg/ekor. Penambahan berat tertinggi berada pada campuran sampah buah dan kotoran ayam 70:30 yaitu mencapai 69 kali dari berat awal larva dan terendah berada pada kontrol sampah buah yaitu 27 kali dari berat awal larva. Rendahnya berat akhir larva pada kontrol sampah buah dimungkinkan akibat pH yang terlalu tinggi yang melebihi rentang pH optimum larva dapat hidup. Sampah sisa makanan dan kotoran ayam tanpa pencampuran sampah buah sebenarnya juga dapat digunakan opsi makanan larva melihat penambahan berat hingga ± 50 kali dari berat awal.

Dari selisih penambahan berat larva juga dapat diukur penambahan berat tiap harinya. Penambahan berat terbesar berada pada campuran sampah buah dan sisa makanan 80:20 sebesar 20,7 mg/hr sedangkan terkecil berada pada kontrol sampah buah yang hanya sebesar 9,4 mg/hr. Penambahan berat larva pada campuran sisa makanan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Sipayung (2015) yang hanya mencapai 18 mg/larva tiap harinya. Menurut Diener (2010),

berat ideal larva dapat dipanen adalah sebesar 252 mg/ekor. Berdasarkan penelitian ini, hanya larva pada campuran sampah buah dan sisa makanan saja serta kontrol sisa makanan yang memenuhi berat ideal larva untuk dipanen. Hal ini disebabkan sisa makanan memiliki protein yang lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran ayam. Berdasarkan penambahan berat larva, larva dari semua jenis sampah berada pada nilai ± 15 mg/hr. Apabila dibandingkan dengan porsi makan yang diberikan kepada larva yaitu sebesar 40 mg/ekor tiap harinya, porsi tersebut terlalu besar untuk dimakan oleh larva setiap harinya. Porsi yang dapat disesuaikan dengan kemampuan larva untuk makan, dapat meningkatkan persentase reduksi sampah. Sehingga pemberian porsi makan perlu mempertimbangkan penambahan berat larva per harinya untuk tiap jenis sampah yang diberikan.

Pada akhir penelitian semua larva yang berada di dalam reaktor diukur beratnya dan juga dihitung jumlah yang sudah memasuki fase prapupa. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Larva dan Jumlah Prapupa pada Akhir Penelitian

Jenis Sampah	Berat Seluruh Larva (g)	Jumlah Larva (ekor)	Jumlah Prapupa (ekor)	Persentase Prapupa (%)
Campuran Sampah Buah dan Sisa Makanan				
90:10	25,45	150	10	6,67
80:20	19,89	170	18	10,59
70:30	20,54	170	14	8,24
Campuran Sampah Buah dan Kotoran Ayam				
90:10	18,19	152	5	3,29
80:20	19,21	169	9	5,33
70:30	19,44	170	12	7,06
Kontrol 1	12,75	170	6	3,53
Kontrol 2	14,63	165	8	4,85
Kontrol 3	17,19	151	11	7,28

Dari Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa jumlah larva pada akhir penelitian mengalami perbedaan. Jumlah larva di akhir penelitian

harusnya berjumlah 170 ekor, namun pada beberapa reaktor terdapat jumlah larva yang kurang dari jumlah yang seharusnya. Hal ini mungkin disebabkan kesalahan ikut terangkatnya larva saat pengambilan sampel untuk pengukuran pH dan pengukuran kadar air sampah. Campuran sampah buah dan sampah makanan mengalami fase prapupa lebih cepat dibandingkan campuran sampah buah dan kotoran ayam. Adanya perbedaan kecepatan perubahan fase hidup larva dipengaruhi oleh kandungan nutrisi di dalam sampel makanan. Campuran sampah buah dan sisa makanan kaya akan nutrisi yang dapat mempercepat metabolisme larva. Pada tahap pemanenan, diharapkan kondisi dimana larva yang dihasilkan mengalami penambahan berat yang besar serta banyak larva yang tersisa atau dalam artian tidak ada prapupa yang terbentuk. Persentase prapupa terkecil berada pada campuran sampah buah dan kotoran ayam 90:10 sedangkan persentase prapupa terbesar berada pada campuran sampah buah dan sisa makanan 80:20. Akan tetapi, apabila tetap memilih jenis sampah campuran sisa makanan karena penambahan berat yang besar, waktu pemanenan larva harus dipercepat sebelum memasuki fase prapupa.

4.3.6 Kandungan protein Larva

Pengukuran kandungan protein larva dilakukan di akhir penelitian. Larva yang diukur adalah larva pada reaktor yang memiliki tingkat reduksi terbesar dari masing-masing komposisi. Sehingga larva yang diukur adalah larva dari reaktor campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 serta campuran sampah buah dan kotoran ayam 80:20. Larva yang diukur kandungan protein adalah semua larva yang tersisa dalam reaktor. Data pengukuran kandungan protein larva yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Kandungan Protein Larva pada Komposisi Terpilih

No	Sampel	Kandungan protein (%)
1	Larva dari Sampah Buah:Sisa Makanan 70:30	41,49
2	Larva dari Sampah Buah:Kotoran Ayam 80:20	34,15

Larva pada campuran sampah buah dan sisa makanan memiliki kandungan protein lebih tinggi dibandingkan dengan campuran sampah buah dan kotoran ayam. Hasil campuran sampah buah dan kotoran ayam memiliki kandungan protein lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Katayane (2014) yang menghasilkan kandungan protein 25,05% pada media kotoran ayam petelur. Menurut Diener (2010), larva yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan pakan ternak adalah larva yang mengandung protein di atas 40%. Sehingga larva pada campuran sisa buah dan sisa makanan 70:30 dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai pakan ternak ataupun pelet ikan.

4.3.7 Analisis Statistik

Analisis statistik diperlukan untuk mengetahui pengaruh setiap variasi terhadap parameter. Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis varian *Anova one way* dengan menggunakan program SPSS. Analisis *Anova one way* dapat menentukan tingkat signifikansi pengaruh variabel jenis makanan dan rasio campuran makanan terhadap penambahan berat larva dan tingkat reduksi sampah. Uji anova dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%, dengan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 ($P < 0,05$).

Analisis statistik pengaruh jenis makanan terhadap penambahan berat larva

Berdasarkan variabel jenis makanan larva diperoleh hasil signifikansi yang sangat baik dengan nilai $P = 0,049$ ($P < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa jenis makanan berpengaruh secara signifikan terhadap Penambahan berat larva. Hasil analisis anova dapat dilihat pada Lampiran B.

Analisis statistik pengaruh jenis makanan terhadap persentase reduksi sampah

Berdasarkan variabel jenis makanan larva terhadap penambahan berat larva diperoleh hasil signifikansi yang sangat baik dengan nilai ($P < 0,05$) untuk pengukuran hari ke 3 hingga ke 14. Sedangkan pada pengukuran hari ke 0 didapat nilai $P > 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa jenis makanan berpengaruh

secara signifikan terhadap persentase penambahan berat larva mulai hari ke 3. Hasil analisis anova dapat dilihat pada Lampiran B.

4.4 Hasil Analisis Penelitian Skala Pilot Tahap I

Pelaksanaan penelitian skala pilot tahap I ini dilaksanakan selama 14 hari di TPST Pasar Puspa Agro Sidoarjo. Reaktor diletakkan pada kontainer plastik berukuran 60 x 40 x 40 cm (Gambar 4.13). Jumlah reaktor yang digunakan adalah 2 buah yaitu campuran sampah buah dan sisa makanan dan replikasinya. Ada beberapa persamaan dan perbedaan pada skala pilot tahap I ini dan skala laboratorium.. Makanan yang diberikan disesuaikan dengan perlakuan pencacahan yang sama dengan penelitian pada skala laboratorium. Sampah buah yang digunakan adalah sampah semangka dan pepaya. Sampah sisa makanan yang digunakan adalah sampah dari warung makan yang dipisahkan dan hanya sisa nasi serta mi yang digunakan. Sedangkan yang membedakan adalah *feeding* larva untuk skala pilot dilakukan sebanyak 3 kali dalam waktu penelitian yaitu pada hari ke 0, 4 dan 7. Selama 14 hari dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter sesuai dengan penelitian skala laboratorium. Parameter tersebut meliputi penambahan berat larva, berat kering larva, kandungan protein larva, suhu dan pH sampah, kadar air sampah, rasio C/N dan reduksi sampah.



Gambar 4. 12 Peletakkan Reaktor Penelitian Skala Pilot Tahap I

4.5.1. Suhu dan pH Sampah

Pengukuran pH dan suhu sampah dilakukan 4 hari disesuaikan dengan jadwal pemberian makan. Pengukuran pH dilakukan dengan mengambil sampah yang tersisa di reaktor sebelum proses *feeding*. Pengukuran pH ini diperlukan untuk

melihat pengaruh penggunaan larva BSF pada perubahan pH yang mungkin terjadi pada sampah. pH dan suhu adalah parameter yang juga dijadikan sebagai kontrol yang dijaga agar larva tetap berkembang dengan nyaman. Data hasil pengukuran suhu dan pH reaktor dalam skala pilot dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4. 11 Data Pengukuran Suhu Reaktor Skala Pilot Tahap I

No	Jenis Reaktor	Pengukuran Suhu (°C)				
		Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-7	Hari ke-10	Hari ke-14
1	Replikasi 1	31	30	31,5	31	30
2	Replikasi 2	31	30	30	31	30
3	Suhu Ruangan	31,5	31,3	32,1	31	32,2

Tabel 4. 12 Data Pengukuran pH Reaktor Skala Pilot Tahap I

No	Jenis Reaktor	Pengukuran pH				
		Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-7	Hari ke-10	Hari ke-14
1	Replikasi 1	4,62	4,43	4,51	4,62	5,8
2	Replikasi 2	4,71	4,5	4,59	4,77	5,9

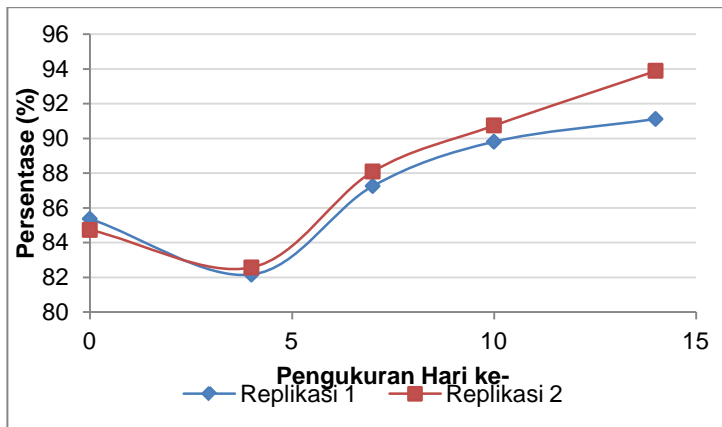
Pada Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa suhu dalam reaktor hampir sama dengan suhu ruangan. Suhu dijaga agar tidak lebih 45°C karena suhu maksimum BSF dapat bertahan hidup adalah 45°C (Alvarez, 2012). Berdasarkan semua hasil pengukuran suhu, tidak ada yang melewati batas maksimum suhu larva dapat hidup dan memiliki hasil yang hampir sama dengan pengukuran suhu skala laboratorium. Sehingga dapat dikatakan bahwa suhu dapat dijaga sesuai dengan kebutuhan larva untuk hidup.

Pada Tabel 4.12 hasil pengukuran pH lebih besar dibandingkan skala laboratorium, hal itu dikarenakan pada skala pilot tahap I, mayoritas sampah buah yang digunakan adalah sampah pepaya. Dari semua hasil pengukuran pH, menunjukkan nilai pada rentang 4 hingga 6. pH yang optimum bagi kehidupan makhluk hidup dalam mendegradasi bahan organik adalah 5,0-8,0 (Alvarez, 2012). pH yang tidak terlalu basa inilah yang

menyebabkan larva pada hari ke 14 masih belum memasuki fase prapupa. Sehingga dapat dikatakan kondisi sampah sebagai makanan larva sesuai dengan rentang kebutuhan larva.

4.5.2. Kadar Air Sampah

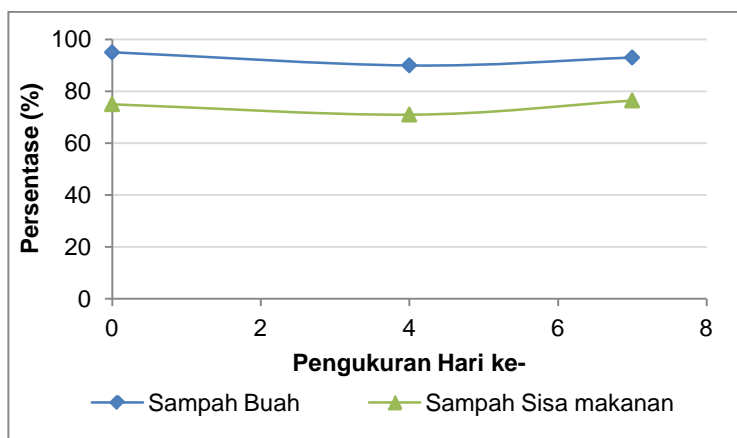
Pengukuran kadar air dilakukan 2 kali yaitu pada sampel yang akan digunakan sebagai makanan larva dan juga pada sampah dalam reaktor. Pengukuran kadar air sampah dalam reaktor dilakukan pada hari ke 0, 4, 7, 10 dan 14. Hasil pengukuran kadar air sampah dalam reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Grafik Pengukuran Kadar Air Sampah Reaktor Pilot Tahap I

Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa pada pengukuran hari ke 5 terjadi penurunan kadar air. Hal ini disebabkan karena makanan yang diberikan untuk *feeding* pada hari sebelumnya yang terlalu kering dengan kadar air 74,7% (Gambar 4.14). Selain itu juga diakibatkan oleh kelembaban yang tinggi pada hari sebelum pengukuran. Makanan yang diberikan adalah sampah buah pepaya serta sisa roti dan kentang goreng, sehingga hasil pengukuran kadar air menjadi turun. Setelah hari ke 5, kadar air mengalami peningkatan hingga pada akhir penelitian kadar air melewati kadar air optimum larva yaitu >90%. Hal ini disebabkan

karena hasil degradasi makanan yang menghasilkan CO₂ dan H₂O (Yuwono, 2005), sehingga kadar air dalam sampah menjadi bertambah.



Gambar 4. 14 Grafik Pengukuran Kadar Air untuk *Feeding* pada Skala Pilot Tahap I

4.5.3. Rasio C/N

Berikut hasil perbandingan rasio C/N awal (Tabel B.7. Lmapiran B) dengan rasio C/N residu yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

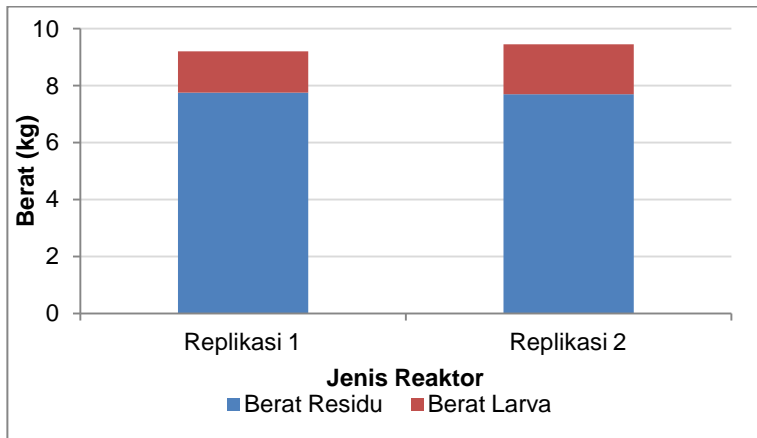
Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Rasio C/N Residu Skala Pilot Tahap I

No	Jenis Sampah	Rasio C/N Awal	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Akhir
1	SM 70:30	23,5	7,2	0.69	14,5

Berdasarkan hasil akhir rasio C/N, residu telah memenuhi standar seperti pada rasio C/N skala laboratorium yaitu > 9,97%, sehingga residu pada proses reduksi larva BSF ini dapat dimanfaatkan sebagai kompos (Surtinah, 2013). Akan tetapi, melihat kadar air yang masih tinggi, perlunya proses pengolahan lanjutan untuk mengurangi kadar air pada residu.

4.5.4. Persentase Reduksi Sampah

Penentuan reduksi sampah berdasarkan besar residu yang dihasilkan saat akhir penelitian yaitu pada hari ke 14. Persentase reduksi ditentukan dari jumlah sampel yang diberikan dan diambil dalam berat kering. Selain berat residu, didapat berat larva yang tersisa di dalam reaktor pada saat pemanenan. Berat residu dan larva hasil pemanenan dapat dilihat pada Gambar 4.15.



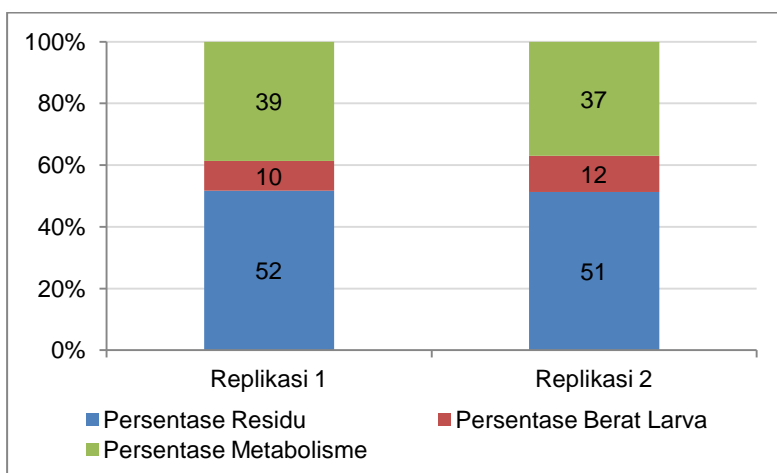
Gambar 4. 15 Berat Residu dan Larva Hasil Pemanenan Reaktor Skala Pilot Tahap I

Berdasarkan berat residu yang didapat, persentase reduksi dapat diketahui dengan membandingkan dengan berat yang telah masuk. Hasil persentase reduksi sampah dalam skala pilot tahap I dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Persentase Reduksi Sampah Skala Pilot Tahap I

No	Jenis Reaktor	Persentase Reduksi (%)
1	Replikasi 1	47,98
2	Replikasi 2	48,31
Rata-rata		48,14

Dari Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa rata-rata persentase reduksi pada penelitian skala pilot tahap I sebesar 48,14%. Persentase reduksi sampah pada penelitian skala pilot tahap I ini lebih rendah dibandingkan dengan persentase reduksi pada penelitian skala laboratorium. Hal ini disebabkan karena kontrol pada skala pilot dilakukan tiap 4 hari sedangkan pada skala laboratorium dilakukan setiap hari. Selain itu, kadar air yang cukup tinggi pada makanan larva serta waktu pemberian makan yang berbeda juga dimungkinkan menjadi penyebab rendahnya persentase reduksi yang dihasilkan.

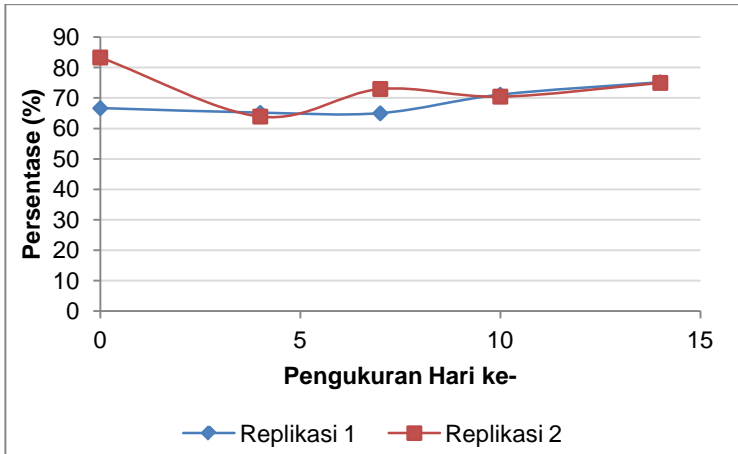


Gambar 4. 16 Grafik Persentase Kestimbangan Massa Skala Pilot Tahap I

Persentase reduksi sampah dapat dilihat melalui grafik kestimbangan massa untuk massa yang masuk dan keluar pada Gambar 4.16. Berdasarkan 100% sampah yang telah diberikan, rata-rata dari kedua replikasi sekitar $\pm 38\%$ diubah sebagai bahan untuk metabolisme, sekitar $\pm 11\%$ diserap ke dalam tubuh larva dan yang lain tersisa sebagai residu di dalam reaktor.

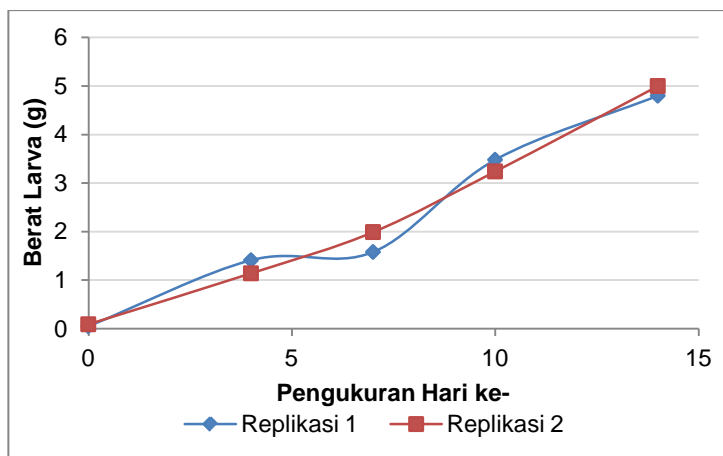
4.5.5. Penambahan Berat Larva

Pengukuran penambahan berat larva dilakukan berdasarkan pengukuran berat kering, sehingga perlu dilakukan pengukuran kadar air. Berikut hasil pengukuran kadar air larva dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Grafik Pengukuran Kadar Air Larva Reaktor Pilot Tahap I

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa besar kadar air larva pada penelitian skala pilot ini rata rata $\pm 70\%$. Kadar air larva pada skala pilot ini hampir sama dengan kadar air pada skala laboratorium. Kadar air pada larva di tahap pilot ini, telah sesuai dengan yang diharapkan agar sama dengan kadar air larva pada skala laboratorium. Persentase kadar air pada larva juga dipengaruhi oleh makanan yang diberikan. Pada replikasi 2, didapat penurunan kadar air pada larva. Hal ini disebabkan karena turunnya kadar air pada sampah replikasi 2 pada pengukuran hari ke 4. Kadar air yang didapat, digunakan untuk mengukur penambahan berat larva. *Trend* penambahan berat larva dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Grafik Penambahan Berat Larva Reaktor Pilot Tahap I

Berdasarkan Gambar 4.18, dapat dilihat bahwa selama 14 hari waktu penelitian, larva dalam reaktor mengalami penambahan berat. Penambahan berat ini diakibatkan karena aktivitas makan yang dilakukan oleh larva. Data penambahan berat tiap harinya dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Penambahan Berat Larva Skala Pilot Tahap I

Jenis Sampah	Berat Awal Larva (mg/ekor)	Berat Akhir Larva (mg/ekor)	Penambahan Berat (kali)	Penambahan Berat (mg/hr)
Replikasi 1	2,5	240	96	17,0
Replikasi 2	4,5	250	56	17,5
Rata-rata	3,5	245	70	17,3

Berat akhir rata rata yang didapat sesuai dengan Tabel 4.15 berada di bawah berat ideal larva panen menurut Diener (2010). Larva yang dihasilkan cenderung lebih kecil dan memiliki berat < 252 mg/ekor. Hal ini disebabkan karena kondisi awal larva yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi awal larva pada skala laboratorium. Hal ini disebabkan karena memasuki

musim penghujan, lalat BSF menghasilkan telur yang berkali-kali lipat lebih banyak. Sehingga dengan porsi makan yang sama saat pengembangbiakan, larva berkompetisi berebut makanan yang menyebabkan ukuran larva menjadi lebih kecil. Persentase penambahan berat larva hampir mencapai 70 kali berat awal. Sedangkan penambahan berat per harinya sebesar 17,3 mg/hari tiap ekornya. Penambahan berat tiap harinya dapat dijadikan dasar jumlah pemberian makanan kepada larva tiap hari untuk ke dapannya. Penambahan berat pada skala pilot tahap I ini lebih rendah dibandingkan dengan penambahan berat pada skala laboratorium. Larva dalam reaktor pilot saat berumur 14 hari masih belum terlihat mulai memasuki fase pupupa.

4.5.6. Kandungan protein Larva

Larva pada reaktor pilot memiliki kandungan protein lebih rendah dibandingkan dengan kandungan protein larva pada skala laboratorium. Hasil kandungan protein larva dari masing-masing reaktor pilot tahap I dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Kandungan Protein Larva Sampah Skala Pilot Tahap I

No	Jenis Reaktor	Kandungan protein Larva (%)
1	Replikasi 1	35,93
2	Replikasi 2	29,60
Rata Rata		32,77

Berdasarkan Tabel 4.16 rata-rata kandungan protein larva pada penelitian skala pilot tahap I ini memiliki nilai lebih kecil dari pengukuran skala laboratorium yaitu sebesar 32,77%. Menurut Diener (2010), larva yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan pakan ternak adalah larva yang mengandung protein di atas 40%. Sehingga larva pada campuran sisa buah dan sisa makanan pada skala pilot belum dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai pakan ternak ataupun pelet ikan. Hasil penelitian skala pilot memiliki hasil yang kurang baik karena kondisi yang tidak dapat dijaga stabil terutama suhu dan kelembaban (Zakova dan Borkovcova, 2013).

4.5 Hasil Analisis Penelitian Skala Pilot Tahap II

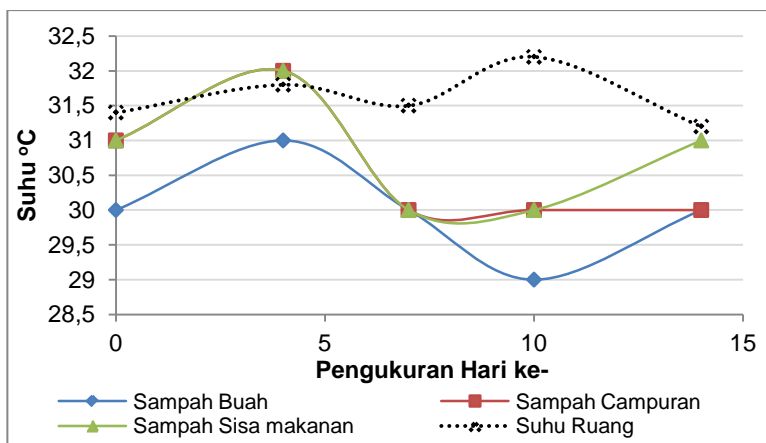
Pelaksanaan penelitian dalam skala pilot tahap II dilaksanakan selama 14 hari di TPST Pasar Puspa Agro Sidoarjo. Penelitian skala pilot tahap II menggunakan reaktor dan kepadatan larva yang sama dengan pilot tahap I akan tetapi sampah tidak dicacah halus serta jenis sampah menyesuaikan dengan kondisi yang ada di Pasar Puspa Agro Sidoarjo. Jumlah reaktor yang digunakan pada tahap ini lebih banyak dengan sampah yang digunakan sesuai dengan sampah yang masuk di TPST tanpa pemilahan. Reaktor diletakkan pada kontainer plastik berukuran 60 x 40 x 40 cm dan diletakkan di atas palet (Gambar 4.19). Jumlah reaktor yang digunakan adalah 36 buah dengan pembagian 12 reaktor untuk sampah buah, 12 reaktor untuk campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 serta 12 reaktor untuk sisa makanan. Reaktor sampah buah dan sisa makanan digunakan sebagai kontrol untuk sampah campuran. *Feeding* larva untuk skala pilot dilakukan sebanyak 3 kali dalam waktu penelitian yaitu pada hari ke 0, 4 dan 7. Selama 14 hari dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter sesuai dengan penelitian skala laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode komposit sehingga dari 36 reaktor dengan 3 variasi akan didapat 3 sampel untuk dilakukan analisis parameter.



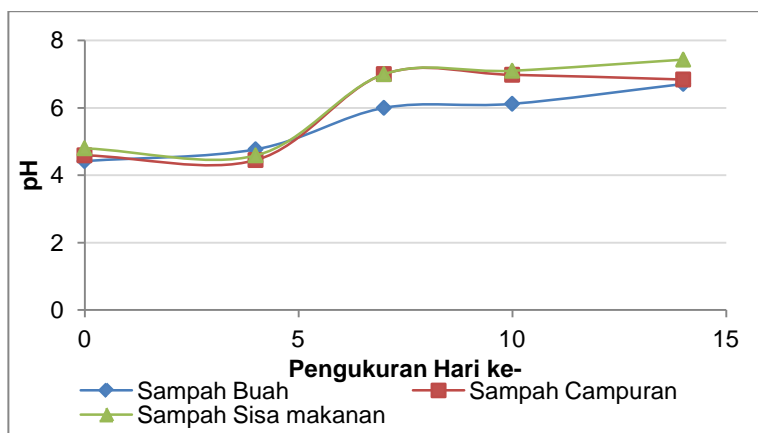
Gambar 4. 19 Gambaran Reaktor Skala Pilot Tahap II

4.5.1. Suhu dan pH Sampah

Pengukuran pH dan suhu sampah dilakukan 4 hari disesuaikan dengan jadwal pemberian makan. Data hasil pengukuran suhu dan pH reaktor dalam skala pilot tahap II dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4. 20 Grafik Pengukuran Suhu Reaktor Pilot Tahap II



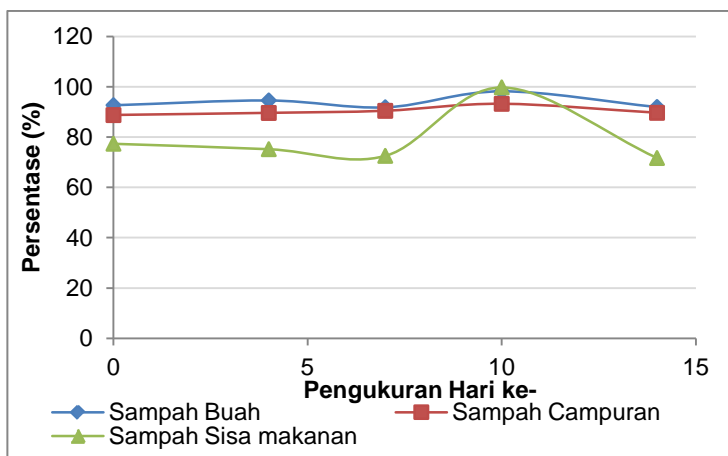
Gambar 4. 21 Grafik Pengukuran pH Reaktor Pilot Tahap II

Berdasarkan Gambar 4.20, hasil pengukuran memiliki nilai yang hampir sama dengan pilot tahap I. Saat pengukuran hari ke 10, sampah buah berada pada suhu terendah yaitu 29°C. Pada pengukuran hari ke 4, sampah campuran dan sampah sisa makanan berada pada suhu tertinggi yaitu 32°C. Suhu pada

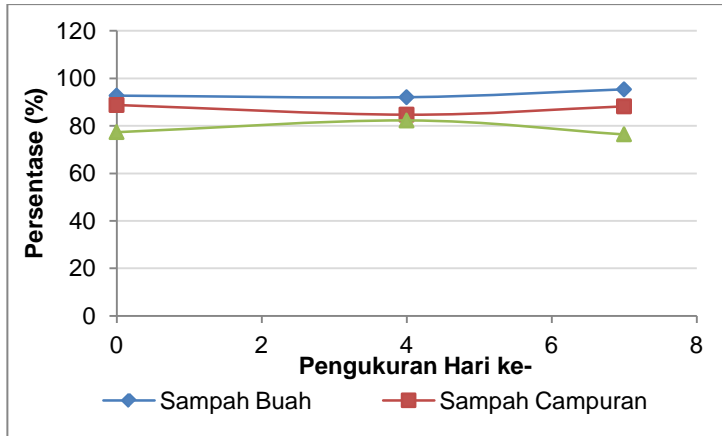
semua reaktor hampir sama dengan suhu ruangan. Suhu pada semua reaktor tidak melebihi batas maksimum larva BSF dapat hidup yaitu 45°C (Alvarez, 2012). Menurut Gambar 4.21 ketiga sampah mengalami kenaikan pH, dari pH awal pada rentang 4 hingga 5 sampai pH akhir pada rentang 6 hingga 7. Perubahan pH terjadi karena adanya senyawa NH_4^+ dan *humic acid*. *Humic acid* akan menyebabkan pH turun sedangkan NH_4^+ akan menyebabkan pH naik (Garg dan Gupta, 2011). Kenaikan pH kemungkinan terjadi karena banyaknya NH_4^+ dalam sampah. Dalam proses pengomposan pH dikondisikan tidak melebihi 8,5 karena akan menghilangkan nitrogen dalam bentuk ammonia (Tchobanoglous dkk., 1993).

4.5.2. Kadar Air Sampah

Pengukuran kadar air sama seperti penelitian skala pilot tahap I yaitu dilakukan 2 kali, pada sampel yang akan digunakan sebagai makanan larva dan juga pada sampah dalam reaktor. Pengukuran kadar air sampah dalam reaktor dilakukan pada hari ke 0, 4, 7, 10 dan 14. Hasil *trend* pengukuran kadar air sampah dalam reaktor dan persentase kadar air makanan untuk *feeding* larva dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23..



Gambar 4. 22 Grafik *Trend* Pengukuran Kadar Air Sampah Pilot Tahap II



Gambar 4. 23 Grafik Pengukuran Kadar Air untuk *Feeding* pada Pilot Tahap II

Dari Gambar 4.22 dilihat bahwa pada pengukuran kadar air sampah buah dan sampah campuran dalam reaktor tidak terjadi perubahan kadar air yang signifikan. Sampah sisa makanan memiliki kadar air yang rendah. Hal ini disebabkan karena makanan yang diberikan untuk *feeding* pada sampah buah memiliki kadar air yang konstan dan kadar air pada sisa makanan memang memiliki kadar air yang relatif rendah (Gambar 4.23). Kadar air pada sampah berpengaruh ketika proses pemanenan. Residu sampah yang memiliki kadar air yang tinggi membuat proses pemanenan lebih mudah dibandingkan dengan sampah yang memiliki kadar air rendah. Pada residu sampah dengan kadar air tinggi dapat dengan mudah membuat larva jatuh ke tempat hasil panen, sedangkan pada kadar air rendah, larva tidak turun dan tetap bersembunyi di bawah residu.

4.5.3. Rasio C/N

Berikut hasil perbandingan rasio C/N awal dengan rasio C/N residu dapat dilihat pada Tabel 4.17.

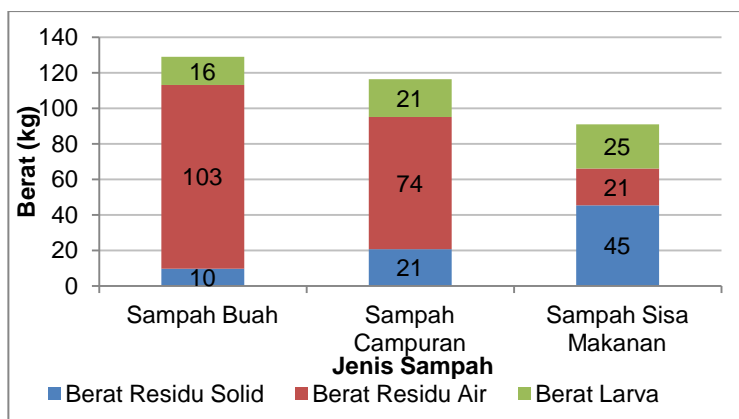
Tabel 4. 17 Hasil Pengukuran Rasio C/N Residu Reaktor Pilot Tahap II

No	Jenis Sampah	Rasio C/N Awal	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Akhir
1	Sampah Buah	12,7	50,6	2,8	18,2
2	Sampah Campuran	15,3	46,1	3,7	12,4
3	Sampah Sisa Makanan	16,7	42,3	3,9	10,9

Berdasarkan hasil akhir rasio C/N dari jenis sampah campuran memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan skala pilot tahap I yaitu hanya sebesar 12,4. Akan tetapi, apabila akan dimanfaatkan untuk kompos, perlunya proses pengolahan lanjutan untuk mengurangi kadar air pada residu yang cukup tinggi.

4.5.4. Persentase Reduksi Sampah

Penentuan reduksi sampah berdasarkan besar residu yang dihasilkan saat akhir penelitian yaitu pada hari ke 14. Berdasarkan hasil penimbangan berat sampah pada campuran sampah buah dan sisa makanan, didapat berat residu total dan berat larva total dari 12 reaktor sesuai dengan Gambar 4.24.



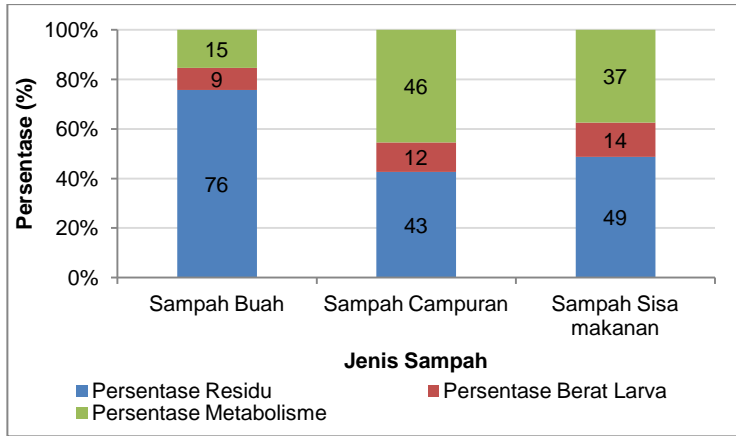
Gambar 4. 24 Data Berat Residu dan Larva Hasil Pemanenan Seluruh Reaktor Skala Pilot Tahap II

Berdasarkan Gambar 4.24, sampah buah memiliki berat residu yang paling besar di antara ketiga jenis sampah. Residu berbentuk cair mencapai 103 kg karena kadar air sampah buah yang sangat tinggi yaitu mencapai 92%. Sampah sisa makanan memiliki residu berbentuk cair terendah dibandingkan ketiga jenis sampah yang hanya mencapai 20,8 kg. Data hasil penimbangan residu dapat dilihat pada Tabel B.8 pada Lampiran B. Dari data residu total yang didapat, dapat dihitung persentase reduksi tiap jenis sampah per reaktornya. Persentase reduksi dari masing-masing jenis dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Persentase Reduksi Sampah pada Pilot Tahap II

No	Jenis Sampah	Persentase Reduksi (%)
1	Sampah buah 100	24,3
2	Sampah buah:Sisa makanan = 70:30	57,3
3	Sampah Sisa makanan 100	51,3

Berdasarkan Tabel 4.18, campuran sampah buah dan sisa makanan menghasilkan persentase reduksi tertinggi yaitu 57,3%. Sampah buah 100% yang dijadikan sebagai kontrol menghasilkan persentase reduksi terendah yaitu 24,3%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan sisa makanan sebagai opsi makanan larva menghasilkan hasil yang lebih efektif.

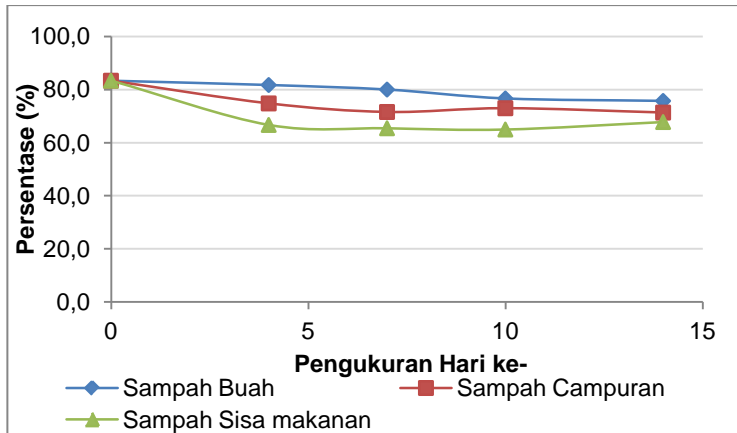


Gambar 4. 25 Grafik Persentase Keseimbangan Massa Skala Pilot Tahap II

Persentase reduksi sampah dapat dilihat melalui grafik kestimbangan massa untuk massa yang masuk dan keluar pada Gambar 4.25. Berdasarkan Gambar 4.25, dari ketiga sampel sampah, sampah campuran yang memiliki nilai persentase metabolisme tertinggi. Sampel sampah awal yang telah diberikan, sekitar $\pm 46\%$ diubah sebagai bahan untuk metabolisme, sekitar $\pm 12\%$ diserap ke dalam tubuh larva dan yang lain tersisa sebagai residu di dalam reaktor.

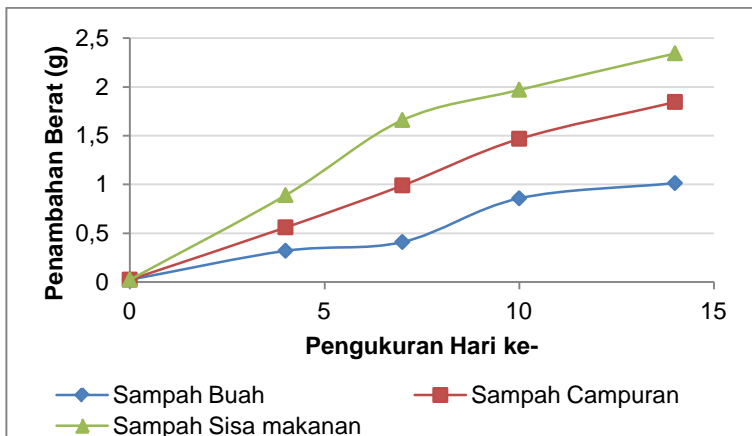
4.5.5. Penambahan Berat Larva

Selama 14 hari penelitian, larva BSF pada reaktor campuran sampah buah dan sisa makanan mengalami penambahan berat (berat kering). Berat kering larva didapat dari pengukuran kadar air larva. *Trend* pengukuran kadar air larva dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Grafik Pengukuran Kadar Air Larva pada Pilot Tahap II

Dari Gambar 4.26 dapat dilihat bahwa besar kadar air larva pada penelitian pilot tahap II ini rata rata $\pm 70\%$. Kadar air larva pada pilot tahap II ini hampir sama dengan kadar air pada skala pilot sebelumnya. Kadar air yang didapat, digunakan untuk mengukur penambahan berat larva. *Trend* penambahan berat larva dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4. 27 Grafik *Trend* Penambahan Berat Larva pada Pilot Tahap II

Berdasarkan Gambar 4.27, dapat dilihat bahwa selama 14 hari waktu penelitian, larva dalam reaktor mengalami penambahan berat. Pada akhir penelitian semua larva yang di dalam reaktor ditimbang beratnya yang kemudian dapat diketahui rata-rata berat larva dari tiap reaktor. Data hasil pengukuran berat larva dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Hasil Pengukuran Berat Larva Reaktor Skala Pilot Tahap II

No	Jenis Sampah	Berat Total (kg)	Berat per Reaktor (kg)
1	Sampah buah	15,90	1,33
2	Sampah Campuran	21,20	1,77
3	Sampah Sisa Makanan	24,85	2,07

Dari Tabel 4.19, dapat dilihat bahwa berat larva tertinggi berada pada sampah sisa makanan yang mencapai berat 24,85 kg dari penimbangan larva seluruh reaktor. Larva pada reaktor sampah buah memiliki ukuran berat yang terkecil dibandingkan dari ketiga sampah lainnya. Hal ini dapat dikaitkan dengan kadar air sampah dalam reaktor. Keadaan lingkungan yang terlalu basah membuat tingkat makan larva berkurang (Saragi, 2015). Dari berat larva dalam satu reaktor dapat dihitung berat larva tiap ekornya dan laju penambahannya. Hasil pengukuran penambahan berat larva dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Penambahan Berat Larva Reaktor Skala Pilot Tahap II

Jenis Sampah	Berat Awal Larva (mg/ekor)	Berat Akhir Larva (mg/ekor)	Penambahan Berat (kali)	Penambahan Berat (mg/hr)
Sampah buah	6	174	29	14,0
Sampah Campuran	6	268	45	18,7
Sampah Sisa Makanan	6	303	51	21,2

Berdasarkan Tabel 4.20, larva dari semua reaktor rata-rata mengalami peningkatan berat puluhan kali dari berat awal. Larva

BSF pada reaktor sampah sisa makanan menghasilkan penambahan berat tertinggi yaitu sebesar 51 kali dari berat awal dan 21,2 mg/hari per ekor larva. Dari ketiga jenis larva, hanya satu larva pada sampah buah yang memiliki berat per ekornya di bawah 252 mg. Sehingga dapat dikatakan larva pada sampah campuran dan sampah sisa makanan masuk berat ideal larva untuk dipanen yaitu di atas 252 mg/ekor (Diener, 2010). Penambahan berat larva pada pilot tahap II lebih besar dibandingkan dengan skala pilot tahap I. Hal ini dimungkinkan karena kondisi sampah yang diberikan pada tahap ini kurang tercacah, berbeda dengan kondisi sampah pada pilot tahap I.

Saat pemanenan di waktu penelitian hari ke 14, sekitar 68% larva dalam reaktor sampah sisa makanan telah mengalami fase prapupa. Hal ini disebabkan kandungan protein pada sampah sisa makanan lebih dibandingkan jenis sampah lainnya (Sipayung, 2015). Sehingga waktu pemanenan pada sampah sisa makanan dapat dikatakan terlambat. Karena akan lebih tepat jika proses pemanenan dilakukan sebelum larva BSF mengalami fase prapupa.

4.5.6. Kandungan protein Larva

Larva pada reaktor pilot memiliki kandungan protein lebih rendah dibandingkan dengan kandungan protein larva pada skala laboratorium. Hasil kandungan protein larva dari masing-masing reaktor pilot tahap II dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Kandungan Protein Larva Sampah Skala Pilot Tahap II

No	Jenis Reaktor	Kandungan protein Larva (%)
1	Sampah Buah	28,1
2	Sampah Campuran	42,6
3	Sampah Sisa Makanan	50,9

Berdasarkan Tabel 4.21 kandungan protein larva tertinggi berada pada larva dalam sampah sisa makanan yaitu sebesar 50,9%. Sedangkan kandungan protein larva terendah berada pada larva dalam sampah buah yaitu sebesar 28,1%. Hasil pengukuran kandungan protein pada skala pilot tahap II untuk sampah campuran memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan

dengan pengukuran kandungan protein pada skala pilot tahap I. Menurut Diener (2010), larva yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan pakan ternak adalah larva yang mengandung protein di atas 40%. Sehingga dapat dikatakan bahwa larva campuran sisa buah dan sisa makanan serta sampah sisa makanan pada penerapan skala pilot tahap II dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai pakan ternak ataupun pelet ikan.

4. 6 Aplikasi dalam Skala Rumah Tangga dan Komunal

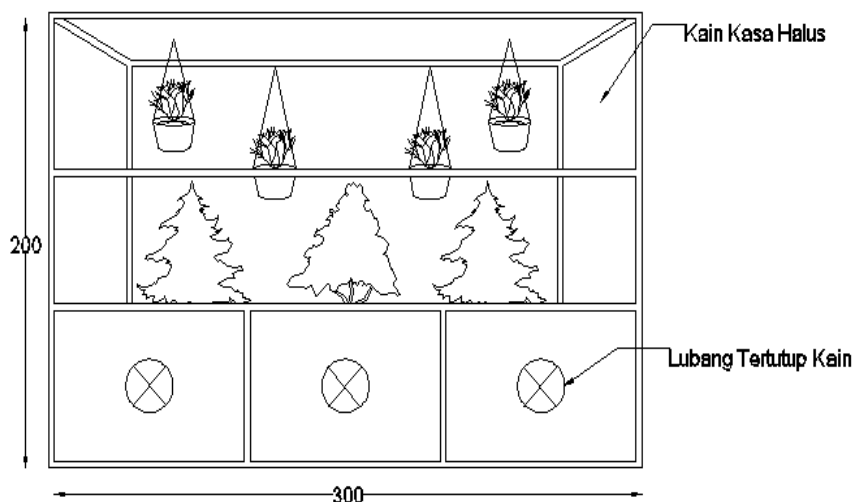
Teknologi reduksi sampah dengan memanfaatkan larva BSF dapat diaplikasikan lebih lanjut untuk skala rumah tangga maupun komunal. Larva BSF dipilih karena lalat BSF bukan merupakan vektor penyakit, sehingga tidak menyebarkan penyakit seperti lalat rumah *Musca domestica* atau lalat hijau. Selain itu, lalat BSF mampu mengurangi populasi lalat rumah *M. domestica* karena lalat BSF merupakan predator lalat hijau. Penerapan untuk skala komunal misalnya pada fasilitas umum seperti fasilitas pendidikan, pertanian, perkebunan, peternakan unggas dan restoran mengingat sampah sisa makanan yang dihasilkan cukup banyak. Teknologi reduksi dengan larva BSF ini dapat diterapkan sebagai alternatif untuk mengurangi sampah sekaligus sebagai bisnis yang menguntungkan. Setidaknya ada tiga produk yang dapat dihasilkan dengan membudidayakan larva BSF sebagai agen biokonversi, yaitu.

- Larva atau prapupa BSF yang dapat dijadikan sebagai sumber protein alternatif dalam bentuk tepung untuk pakan ternak, seperti ayam, burung maupun ikan.
- Cairan yang dihasilkan larva BSF bisa dimanfaatkan sebagai pupuk cair.
- Sisa limbah organik kering yang dapat dijadikan sebagai pupuk.

Penggunaan tepung larva BSF hingga 50% untuk pakan burung puyuh mampu meningkatkan tingkat konsumsi pakan burung puyuh sehingga dihasilkan berat telur pada rentang 9,25–10,12 g, termasuk meningkatkan produksi telur hingga 3,39% (Rachmawati dkk., 2008).

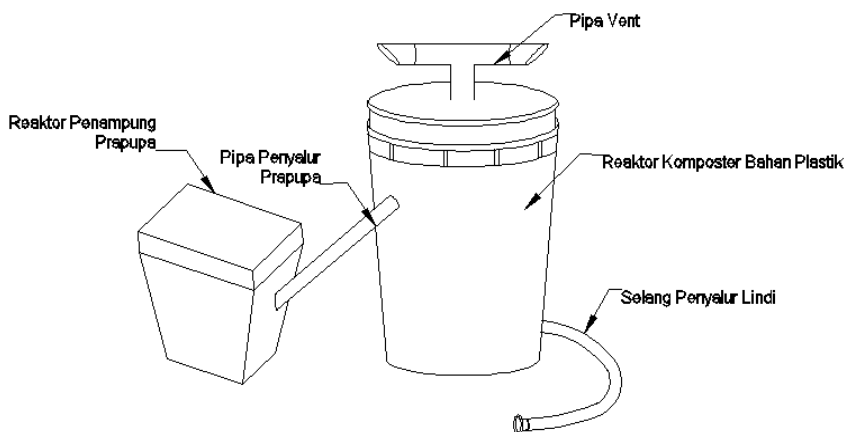
Pada penerapan dalam skala rumah tangga, dari 11 kg sampah rumah tangga yang diberikan, sekitar 2 kg larva akan dihasilkan, sekitar 3 kg akan dihasilkan sebagai kompos dan

sekitar 0,8 kg akan dihasilkan dalam bentuk pupuk cair (Zheng dkk., 2011). Desain reaktor yang digunakan harus mempunyai ukuran yang kecil dan mudah dipindahkan serta tertutup untuk mengurangi larva atau lalat yang terlepas. Contoh sketsa reaktor yang dapat digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.28 hingga Gambar 4.30.



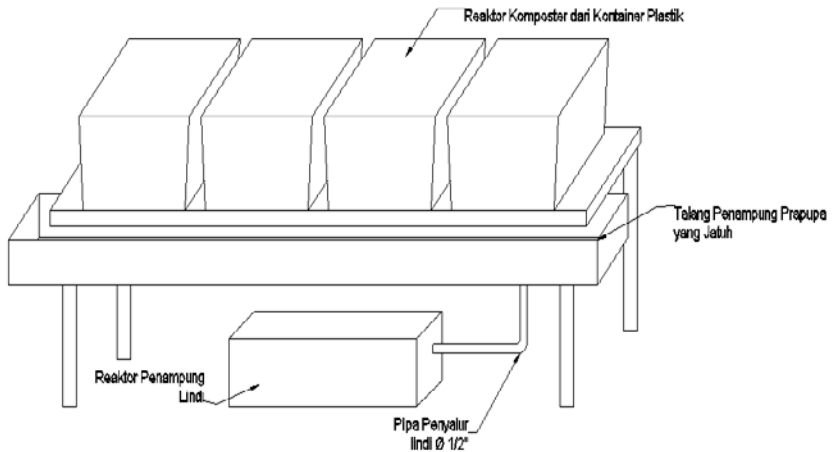
Gambar 4. 28 Sketsa Tempat Pengembangbiakan Lalat BSF

Pada Gambar 4.28 adalah tempat fase lalat BSF dewasa untuk bertelur. Pada bagian atas dapat ditambahkan tumbuhan-tumbuhan untuk tempat BSF bertelur sedangkan pada bagian bawah dilengkapi kontainer plastik penampung larva BSF dari telur yang menetas. Peletakkan tempat pengembangbiakan ini pada ruangan yang sedikit cahaya atau ruang yang gelap karena BSF termasuk jenis lalat yang fotopobia.



Gambar 4. 29 Sketsa Reaktor Untuk Skala Rumah Tangga

Reaktor untuk skala rumah tangga memiliki desain yang sederhana dan menggunakan bahan yang mudah ditemukan. Reaktor komposter bisa dibuat dari kontainer bekas kemasan cat dengan kapasitas sampah sebesar 11 kg. Ukuran yang kecil memudahkan untuk dipindahkan. Di dalam reaktor terdapat pipa miring untuk jalur prapupa berpindah menuju tempat penampungan. Reaktor penampung larva adalah tempat akhir untuk pemanenan prapupa yang selanjutnya dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Selang penyalur lindi digunakan apabila ingin memanen lindi yang dihasilkan untuk dimanfaatkan sebagai pupuk cair.



Gambar 4. 30 Sketsa Reaktor Untuk Skala Komunal

Reaktor skala komunal pada Gambar 4.30 tersusun dari kontainer plastik tertutup yang bagian sisi kanan kirinya memiliki kemiringan, sehingga tampak samping seperti bentuk trapesium. Kapasitas sampah tiap kontainer adalah sebesar 200 L. Banyak kontainer yang digunakan sebagai reaktor menyesuaikan dengan sampah yang dihasilkan dari tiap kegiatan. Pada bagian depan bawah reaktor dipasang talang plastik berbahan PVC untuk menampung prapupa yang berjatuhan keluar dari reaktor. Pada ujung talang terdapat bagian yang dapat dibuka tutup untuk memanen larva yang tertampung di dalam talang. Bagian bawah meja dilengkapi kontainer untuk menampung lindi yang dihasilkan dari reaktor. Lindi yang dihasilkan ini nantinya dapat dimanfaatkan sebagai pupuk cair.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

PROSEDUR PERCOBAAN

1. Analisis Kandungan Protein

Analisis Total Nitrogen

a. Peralatan dan bahan

Alat

- Neraca analitis;
- Alat destruksi kjeldahl ukuran 250 ml;
- Alat destilasi uap;
- Peralatan gelas: labu destruksi 250 ml, labu takar, corong gelas, buret 50 ml, pipet volumetrik 25 ml, erlenmeyer 250 ml, gelas ukur 50 ml, gelas piala 50 ml, pipet tetes dan batang pengaduk;
- Saringan no. 20 ukuran *mesh* 0,0331 inchi, diameter kawat 0,355 mm.

Bahan

- Tablet katalis
Terdiri dari 7 g K_2SO_4 dan 0,5 g $CuSO_4$ (0,83 g $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$)
- Kertas timbang bebas N (Whatman 541).
- Batu didih.
- Asam borat 4%.
- Larutan absorban

Larutkan 4 g H_3BO_3 dalam air yang ditambahkan 0,7 ml larutan indikator *methyl red* 0,1% dalam etanol dan 1 ml larutan indikator *bromcresol green* 0,1% dalam etanol dan diencerkan sampai 100 ml.

- Asam sulfat (H_2SO_4) pekat.
- Hidrogen peroksida (H_2O_2) 30-35% pekat.
- Larutan natrium hidroksida-natrium tiosulfat

Larutkan 2000 g NaOH dan 125 g $Na_2S_2O_3$ dalam air dan diencerkan menjadi 5 l (kira-kira penggunaan per analisis 50 ml).

- Larutan standar asam klorida 0,2 N

Larutan HCl 37% (pekat) sebanyak 16 ml dilarutkan dalam 1 l H_2O .

- b. Prosedur kerja analisis
- Timbang kira-kira 2 g homogenate contoh pada kertas timbang, lipat-lipat dan masukan ke dalam labu destruksi.
 - Tambahkan 2 buah tablet katalis serta beberapa butir batu didih.
 - Tambahkan 15 ml H_2SO_4 pekat (95-97%) dan 3 ml H_2O_2 secara perlahan-lahan dan didiamkan 10 menit dalam ruang asam.
 - Destruksi pada suhu 410°C selama ± 2 jam atau sampai larutan jernih, diamkan hingga mencapai suhu kamar dan tambahkan 50-75 ml aquades.
 - Siapkan Erlenmeyer berisi 25 ml larutan H_3BO_3 4% yang mengandung indikator sebagai penampung destilat.
 - Pasang labu yang berisi hasil destruksi pada rangkaian alat destilasi uap.
 - Tambahkan 50-75 ml larutan natrium hidroksida-thiosulfat.
 - Lakukan destilasi dan tampung destilat dalam erlenmeyer tersebut hingga volume mencapai minimal 150 ml (hasil destilat akan berubah menjadi kuning).
 - Titrasi hasil destilat dengan HCl 0,2 N yang sudah dibakukan sampai warna berubah dari hijau menjadi abu-abu netral (*natural gray*).
 - Lakukan pengerjaan blanko seperti tahapan sampel.
 - Lakukan pengujian sampel minimal duplo (dua kali).
 - Hasil titrasi dihitung dalam rumus perhitungan.
Kandungan protein (%) = % N x faktor konversi
Nilai faktor konversi berbeda tergantung sampel:
- | | |
|----------------|------|
| 1. Sereal | 5,7 |
| 2. Roti | 5,7 |
| 3. Sirup | 6,25 |
| 4. Biji-bijian | 6,25 |
| 5. Buah | 6,25 |
| 6. Beras | 5,95 |
| 7. Susu | 6,38 |
| 8. Kelapa | 5,20 |

9. Kacang Tanah

5,46

Apabila faktor konversi tidak diketahui, faktor 6,25 dapat digunakan . Faktor ini diperoleh dari fakta rata-rata nitrogen dalam protein adalah 16 %.

$$\text{Kandungan protein (\%)} = \frac{(\text{Va} - \text{Vb}) \text{HCl} \times \text{NHCl} \times 14,007 \times 6,25 \times 100\%}{\text{W} \times 1000}$$

Dimana:

- Va = ml HCl untuk tirasi sampel
- Vb = ml HCl untuk titrasi blanko
- N = normalitas HCl standar yang digunakan
- 14,007 = berat atom nitrogen
- 6,25 = faktor konversi protein
- W = berat sampel

2. Analisis Kadar Air

a. Peralatan dan bahan

Alat

- Neraca analitis;
- Cawan porselen;
- Oven 105°C;
- Desikator.

Bahan

- Sampel.
- ### b. Prosedur Kerja Analisis
- Siapkan cawan porselen yang sudah dioven selama ± 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator.
 - Timbang cawan porselen kosong dengan menggunakan neraca analitis, catat hasil pembacaannya (a).
 - Tambahkan sampel ke dalam cawan kosong, kemudian timbang dan catat hasil pembacaannya (b).
 - Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Dinginkan di dalam desikator, kemudian timbang dengan neraca analitis dan catat hasil pembacaannya (c).

- Hitung kadar air dengan rumus perhitungan.

$$\text{Kadar air} = \frac{(b - a) - (c - a)}{(b - a)} \times 100\%$$

Dimana:

- a = berat awal cawan kosong
- b = berat cawan kosong + sampel
- c = berat cawan + sampel setelah dioven

3. Analisis pH

a. Peralatan dan bahan

Alat

- pH meter;
- Labu erlenmeyer 100 ml;
- *Magnetic stirrer*;
- Neraca analitis;
- Spatula.

Bahan

- Sampel;
- Aquades.

b. Prosedur kerja analisis

- Timbang sampel sebanyak 10 g dengan neraca analitis, lalu masukkan ke dalam tabung Erlenmeyer 100 ml.
- Tambahkan 50 ml aquades.
- Aduk dengan *magnetic stirrer* selama 10 menit.
- Tuangkan larutan ke dalam gelas ukur 50 ml, biarkan sampel yang tidak terlarut di dalam Erlenmeyer.
- Ukur dan catat hasil pembacaan pH meter.

4. Analisis Total C-organik

Analisis Metode Walkey and Black

a. Peralatan dan bahan

Alat

- Neraca Analitis;
- Erlenmeyer 250 ml;
- Pipet tetes;
- Pipet volumetrik;

- Buret 50 ml;

Bahan

- Sampel;
- Aquades;
- $K_2Cr_2O_7$ 1 N;
- H_2SO_4 98%;
- Air destilat;
- Indikator Ferroin;
- $FeSO_4$ 0,4 N.

b. Prosedur kerja analisis

- Timbang 0,5 g sampel yang telah diayak (2 mm).
- Ditambahkan aquades sebanyak 25 ml, lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
- Ditambahkan 10 ml $K_2Cr_2O_7$ 1 N dan 20 ml H_2SO_4 98%, kemudian campuran dikocok perlahan.
- Diamkan selama 30 menit dan kemudian ditambahkan 200 ml air destilat.
- Ditambahkan 3 sampai 4 tetes indikator ferroin .
- Larutan dititrasi dengan $FeSO_4$ 0,4 N sampai warna hijau terang kemudian berubah hijau gelap. Tambahkan lagi $FeSO_4$ 0,4 N perlahan hingga warna berubah menjadi merah pudar.
- Lakukan cara yang sama untuk pengukuran blanko.
- Catat dan hitung hasil dengan rumus perhitungan.

$$\%C = \frac{0,003 \text{ g} \times N \times 10 \text{ ml} \times \left(1 - \frac{s}{t}\right) \times 100}{ODW}$$

Keterangan:

N = normalitas larutan $K_2Cr_2O_7$

s = titrasi $FeSO_4$ sampel (ml)

t = titrasi $FeSO_4$ blanko (ml)

ODW = oven-dry sample weight (g)

5. Analisis Total N-organik

Analisis Metode Semi Mikro Kjeldahl

a. Peralatan dan bahan

Alat

- Neraca analitis;
- Labu semi mikro kjeldahl 100 ml;
- Pipet volumetrik;
- Rangkaian alat destilasi;
- Erlenmeyer 100 ml;
- Labu pengencer 100 ml;
- Spektrofotometer.

Bahan

- Sampel;
- Larutan katalis (H_2SO_4 , CuSO_4 , Na_2SO_4);
- Air destilat;
- Larutan nessler;
- Larutan garam signet;

b. Prosedur kerja analisis

- Timbang 0,02 g sampel dan ditempatkan dalam labu semi mikro kjeldahl 100 ml.
- Ditambahkan 10 ml larutan katalis.
- Labu dipanaskan dengan rangkaian alat pemanas kjeldahl selama 4 jam.
- Labu didinginkan dan diencerkan dengan air destilat hingga 100 ml.
- Ambil 10 ml dari labu pengencer dan diletakkan pada Erlenmeyer 100 ml.
- Sampel dibaca menggunakan spektrofotometer dengan cara seperti mengukur ammonia.
- Ditambahkan 0,6 ml larutan garam signet ke dalam Erlenmeyer.
- Ditambahkan 0,5 ml larutan nessler ke dalam Erlenmeyer kemudian diamkan selama 10 menit.
- Dibaca menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang sama dengan panjang gelombang pengukuran ammonia.
- Hasil absorbansi dicatat kemudian dihitung berdasarkan rumus perhitungan.

$$\%N = \frac{\text{Konsentrasi larutan} \times \text{Volume larutan} \times 100}{\text{Berat kering sampel} \times 1000}$$

LAMPIRAN B
TABEL HASIL PENGUKURAN
ANALISIS STATISTIK

Tabel B.1. Data Hasil Pengukuran Suhu

Jenis Sampah	Suhu (°C)														
	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9	Hari ke-10	Hari ke-11	Hari ke-12	Hari ke-13	Hari ke-14
SM 90:10	30	30	29	29	29	29	29	30	30	30	29	30	29	30	30
SM 80:20	30	30	29	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	29	30
SM 70:30	30	30	28	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	29
SM 90:10 (2)	30	30	29	28	29	29	28	30	30	30	29	31	30	30	30
SM 80:20 (2)	30	30	29	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	29.5
SM 70:30 (2)	30	30	28	29	29	29	28	30	30	30	29	30	30	30	30
KA 90:10	30	30	28	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	31
KA 80:20	30	30	29	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	30
KA 70:30	30	30	28,5	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	29	30
KA 90:10 (2)	30	30	28,5	29	29	29	29	30	30	30	29	30,5	30	30	30
KA 80:20 (2)	30	29	29	29	29	29	29	30	29	30	29	30	30	30	30

Jenis Sampah	Suhu (°C)														
	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9	Hari ke-10	Hari ke-11	Hari ke-12	Hari ke-13	Hari ke-14
KA 70:30 (2)	30	30	28,5	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	30
Kontrol 1	29	29,5	28	28	29	29	28	29	29,5	30	29	30	29	30	29,5
Kontrol 2	30	30	29	29	29,5	29	29	30	30	30	29,5	30	31	29,5	30
Kontrol 3	30	30	29	29	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	30
Suhu ruangan	30	30	30	30	31	31	30	31	30	30	31	31	32	30	31

Tabel B.2. Data Hasil Pengukuran pH

Jenis Sampah	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9	Hari ke-10	Hari ke-11	Hari ke-12	Hari ke-13	Hari ke-14
SM 90:10	5,93	5,5	4,93	4,76	4,73	4,73	4,53	5,34	5,6	5,69	5,73	5,75	5,82	5,7	5,64
SM 80:20	5,14	5,34	4,81	4,4	4,68	4,2	4,41	5,23	5,38	5,44	5,51	5,5	5,55	5,51	5,43
SM 70:30	5,42	5,12	4,74	4,27	4,6	4,53	4,46	5,27	5,42	5,53	5,49	5,64	5,73	5,5	5,4
SM 90:10 (2)	5,5	5,5	4,76	4,37	5,07	4,47	4,66	5,37	5,64	5,7	5,74	5,74	7,6	5,74	6,46
SM 80:20 (2)	5,26	5,06	4,61	4,27	4,73	4,27	4,39	5,2	5,41	5,57	5,64	5,6	5,62	5,53	5,56
SM 70:30 (2)	5,66	5,26	4,39	4,21	4,58	4,53	4,43	5,23	5,37	5,46	5,49	5,71	5,9	5,42	5,46
KA 90:10	5,88	5,48	5,37	4,8	5,51	6,31	5,85	7,99	8,68	8,83	9,01	8,98	9,72	8,68	9,74

Jenis Sampah	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9	Hari ke-10	Hari ke-11	Hari ke-12	Hari ke-13	Hari ke-14
KA 80:20	5,67	5,37	5,48	4,88	5,79	6,55	6,24	8,28	9,2	9,15	9,29	9,1	9,21	9,37	9,75
KA 70:30	5,94	5,31	5,55	5,05	5,5	7,11	6,64	8,55	9,32	9,43	9,47	9,49	9,53	9,41	9,73
KA 90:10 (2)	5,91	5,36	5,59	4,5	5,53	5,86	5,55	8,23	8,8	8,51	8,69	9,03	9,19	8,9	9,06
KA 80:20 (2)	5,85	5,26	5,53	5,07	5,41	6,13	6,13	8,46	9,2	9,08	9,01	9,13	9,33	9,25	9,65
KA 70:30 (2)	5,81	5,38	5,41	4,97	5,49	7,46	6,69	8,56	9,35	9,36	9,5	9,66	9,39	9,37	9,56
Kontrol 1	5,55	4,93	4,95	4,97	4,99	5,53	4,96	5,81	6,4	6,97	8,61	8,81	9,26	8,46	9,6
Kontrol 2	8,65	8,59	7,83	8,85	9,86	9,85	9,54	9,54	10,16	10,08	10,05	9,56	9,53	9,91	9,98
Kontrol 3	5,49	5,03	4,6	4,15	4,49	4,36	3,93	5,14	5	4,94	4,85	4,99	5,01	5,33	5,17

Tabel B.3. Data Hasil Pengukuran Kadar Air Makanan Larva

Jenis Sampah	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9	Hari ke-10	Hari ke-11	Hari ke-12	Hari ke-13
SB:SM =90:10	88,8	87,7	85,6	78,0	75,3	86,7	86,4	85,8	89,1	87,9	87,4	85,4	88,1	82,2
SB:SM =80:20	84,7	85,1	82,9	75,8	72,7	83,7	82,6	82,9	86,1	88,9	84,4	82,4	84,8	81,7
SB:SM =70:30	88,2	82,5	80,1	73,5	72,3	80,6	78,8	80,1	83,1	91,6	81,4	79,5	70,4	70,8
SB:KA=	90,4	87,9	86,3	78,5	75,4	87,1	87,6	86,0	89,4	84,3	87,3	85,3	90,4	93,2

Jenis Sampah	Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9	Hari ke-10	Hari ke-11	Hari ke-12	Hari ke-13
90:10														
SB:KA=80:20	88,2	85,5	84,3	76,7	89,2	84,6	85,1	83,3	86,7	88,9	84,3	82,3	84,8	85,4
SB:KA=70:30	81,4	83,1	82,2	74,9	88,4	82,0	82,5	80,7	83,9	80,5	81,3	79,3	81,5	76,9
K1	95,2	90,3	88,4	80,3	77,2	89,7	90,2	88,6	92,1	92,2	90,4	88,3	91,4	95,8
K2	70,4	66,2	67,8	62,4	60,3	64,1	64,5	62,3	64,9	66,1	60,1	58,2	58,2	57,8
K3	65,1	64,2	60,7	57,7	55,4	59,5	52,3	60,1	62,1	55,9	60,4	59,0	58,5	58,9

Tabel B.4. Detail Data Hasil Pengukuran Rasio C/N Skala Laboratorium

Jenis Sampah	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Awal	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Akhir
SM 90:10	17,08	0,59	28,84	8,99	0,56	15,98
SM 80:20	28,74	1,27	22,56	7,02	0,64	11,04
SM 70:30	60,22	3,78	15,95	5,71	0,47	12,18
SM 90:10 (2)	59,38	3,27	18,13	10,83	0,57	18,86
SM 80:20 (2)	31,69	1,91	16,59	11,43	0,76	14,95
SM 70:30 (2)	70,09	3,86	18,15	9,28	0,81	11,40
KA 90:10	17,71	0,70	25,47	19,11	0,52	37,04
KA 80:20	56,14	2,48	22,65	9,92	0,66	15,10
KA 70:30	73,36	5,18	14,17	10,41	0,71	14,69
KA 90:10 (2)	38,82	1,79	21,71	7,45	0,60	12,45
KA 80:20 (2)	64,62	3,98	16,23	10,26	0,73	13,98

Jenis Sampah	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Awal	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Akhir
KA 70:30 (2)	38,69	2,16	17,88	10,15	0,74	13,70
Kontrol 1	33,29	0,90	37,07	13,99	0,49	28,52
Kontrol 2	37,59	2,00	18,81	9,79	0,88	11,18
Kontrol 3	35,42	1,69	21,02	6,64	0,50	13,31

Tabel B.5. Data Hasil Penimbangan Berat Larva dalam Berat Basah

Jenis Sampah	Berat Basah Larva (g)					
	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9	Hari ke-12	Hari ke-14
SM 90:10	0,085	0,540	0,633	1,744	2,197	2,823
SM 80:20	0,144	0,636	0,932	2,029	3,246	3,483
SM 70:30	0,119	0,671	0,991	1,797	2,428	2,465
SM 90:10 (2)	0,102	0,620	0,654	1,170	2,178	2,403
SM 80:20 (2)	0,102	0,572	1,033	1,239	2,518	2,450
SM 70:30 (2)	0,081	0,541	1,157	1,566	2,654	2,734
KA 90:10	0,105	0,331	0,695	1,329	1,989	2,139
KA 80:20	0,142	0,305	0,775	1,437	1,916	2,111
KA 70:30	0,090	0,288	0,617	1,335	1,636	2,363
KA 90:10 (2)	0,074	0,350	0,702	1,435	1,713	2,624
KA 80:20 (2)	0,101	0,218	0,779	1,432	1,788	2,299
KA 70:30 (2)	0,069	0,435	1,063	1,650	1,996	3,109
Kontrol 1	0,107	0,255	0,485	0,852	1,263	1,374
Kontrol 2	0,084	0,615	1,166	1,501	1,926	1,910
Kontrol 3	0,110	0,361	0,849	1,556	1,994	2,758

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Tabel B.6. Data Penambahan Makanan Larva dan Hasil Residu

Jenis Sampah	Berat Basah (g)													
	Hari ke-0		Hari ke-1		Hari ke-2		Hari ke-3		Hari ke-4					
	Sampah awal	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor
SB:SM=90:10	20,027	10,186	2,000	20,127	30,313	2,022	20,131	48,422	8,041	20,076	60,457	10,081	20,032	70,409
SB:SM=80:20	20,080	20,080	2,075	20,045	38,050	10,032	20,119	48,137	8,046	20,039	60,131	10,083	20,076	70,124
SB:SM=70:30	20,038	20,038	2,029	20,036	38,046	10,076	20,148	48,117	8,007	20,029	60,140	10,069	20,053	70,124
SB:SM=90:10 (2)	20,037	20,037	2,047	20,044	38,034	10,089	20,031	47,976	8,061	20,061	59,975	10,007	20,069	70,038
SB:SM=80:20 (2)	20,021	20,021	2,074	20,021	37,967	10,058	20,063	47,973	8,093	20,022	59,901	10,059	20,069	69,911
SB:SM=70:30 (2)	20,013	20,013	2,037	20,062	38,037	10,050	20,014	48,002	8,092	20,078	59,988	10,100	20,007	69,895
SB:KA=90:10	20,151	20,151	2,032	20,095	38,215	10,071	20,170	48,314	8,025	20,047	60,336	10,039	20,048	70,345
SB:KA=80:20	20,184	20,184	2,008	20,004	38,180	10,061	20,290	48,409	8,056	20,083	60,436	10,094	20,072	70,413
SB:KA=70:30	20,290	20,290	2,093	20,083	38,279	10,001	20,250	48,527	8,046	20,040	60,522	10,004	20,008	70,526
SB:KA=90:10 (2)	20,100	20,100	2,014	20,050	38,136	10,018	20,106	48,224	8,185	20,098	60,138	10,046	20,098	70,191
SB:KA=80:20 (2)	20,029	20,029	2,028	20,036	38,037	10,070	20,087	48,054	8,067	20,056	60,043	10,010	20,082	70,115
SB:KA=70:30 (2)	20,114	20,114	2,000	20,081	38,195	10,017	20,422	48,601	8,092	20,094	60,603	10,098	20,009	70,514
K1	20,004	9,655	2,000	20,003	29,657	8,014	20,017	41,660	1,872	20,051	59,839	10,048	20,063	69,854
K2	20,022	20,022	2,051	20,139	38,109	10,049	20,014	48,075	8,125	20,010	59,959	10,034	20,071	69,997
K3	20,149	20,149	2,003	20,021	38,167	10,092	20,011	48,086	8,082	20,047	60,051	10,051	20,095	70,094

Lanjutan Tabel B.6.

Jenis Sampah	Berat Basah (g)														
	Hari ke-5				Hari ke-6		Hari ke-7			Hari ke-8			Hari ke-9		
	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor
SB:SM=90:10	15,055	20,100	75,454	10,011	20,054	85,498	10,015	20,024	95,506	10,014	20,065	105,557	10,006	20,006	115,557
SB:SM=80:20	15,115	20,027	75,036	10,021	20,037	85,052	10,031	20,026	95,047	10,016	20,061	105,091	10,000	20,009	115,100
SB:SM=70:30	15,100	20,086	75,110	10,010	20,079	85,179	10,049	20,058	95,187	10,005	20,052	105,234	10,004	20,001	115,231
SB:SM=90:10 (2)	15,106	20,028	74,960	10,054	20,041	84,947	10,004	20,020	94,963	10,018	20,041	104,986	10,005	20,004	114,984
SB:SM=80:20 (2)	15,163	20,021	74,769	10,004	20,035	84,800	10,042	20,006	94,764	10,008	20,094	104,850	10,007	20,000	114,844
SB:SM=70:30 (2)	15,077	20,033	74,851	10,014	20,023	84,859	10,052	20,012	94,819	10,004	20,056	104,871	10,008	20,010	114,873
SB:KA=90:10	15,048	20,029	75,327	10,045	20,030	85,311	10,031	20,009	95,289	10,030	20,037	105,296	10,045	20,005	115,256
SB:KA=80:20	15,079	20,087	75,421	10,067	20,014	85,369	10,060	20,057	95,366	10,048	20,060	105,378	10,009	20,003	115,371
SB:KA=70:30	15,082	20,061	75,506	10,059	20,067	85,514	10,010	20,016	95,520	10,012	20,031	105,539	10,004	20,008	115,543
SB:KA=90:10 (2)	15,041	20,013	75,163	10,074	20,053	85,142	10,006	20,062	95,198	10,003	20,083	105,278	10,007	20,017	115,287
SB:KA=80:20 (2)	15,092	20,009	75,032	10,046	20,080	85,066	10,037	20,013	95,042	10,053	20,023	105,013	10,009	20,012	115,016
SB:KA=70:30 (2)	15,096	20,080	75,498	10,026	20,061	85,532	10,075	20,006	95,463	10,007	20,088	105,544	10,008	20,003	115,538
K1	15,051	20,025	74,828	10,025	20,032	84,835	10,016	20,086	94,904	10,003	20,029	104,931	10,009	20,000	114,922
K2	15,059	20,006	74,943	10,030	20,037	84,951	10,002	20,077	95,026	10,031	20,013	105,008	10,033	20,051	115,026
K3	15,069	20,057	75,082	10,043	20,037	85,077	10,006	20,018	95,089	10,003	20,002	105,088	10,006	20,007	115,089

Lanjutan Tabel B.6.

Jenis Sampah	Berat Basah (g)													
	Hari ke-10			Hari ke-11		Hari ke-12			Hari ke-13			Hari ke-14		Sisa Sampah akhir
	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah ditambahkan	Sampah dalam reaktor	Sampah digunakan	Sampah dalam reaktor	
SB:SM=90:10	15,065	20,027	120,518	20,006	140,524	10,002	20,069	150,591	10,002	20,009	160,598	15,011	145,588	44,363
SB:SM=80:20	15,165	20,080	120,015	20,004	140,018	10,004	20,144	150,158	10,006	20,005	160,157	15,023	145,135	41,640
SB:SM=70:30	15,069	20,038	120,200	20,006	140,206	10,006	20,058	150,258	10,010	20,004	160,253	15,005	145,248	21,284
SB:SM=90:10 (2)	15,049	20,037	119,973	20,004	139,977	10,007	20,077	150,047	10,006	20,008	160,049	15,028	145,021	31,897
SB:SM=80:20 (2)	15,082	20,021	119,783	20,008	139,791	10,002	20,075	149,865	10,003	20,003	159,865	15,101	144,765	39,336
SB:SM=70:30 (2)	15,125	20,013	119,761	20,011	139,772	10,005	20,059	149,825	10,010	20,008	159,824	15,033	144,791	28,384
SB:KA=90:10	15,111	20,151	120,296	20,012	140,308	10,007	20,140	150,441	10,007	20,024	160,457	15,088	145,369	52,679
SB:KA=80:20	15,269	20,184	120,286	20,008	140,294	10,013	20,001	150,283	10,075	20,067	160,274	15,105	145,169	40,017
SB:KA=70:30	15,021	20,290	120,812	20,022	140,834	10,033	20,091	150,892	10,055	20,014	160,850	15,683	145,168	55,188
SB:KA=90:10 (2)	15,262	20,100	120,126	20,011	140,136	10,169	20,173	150,140	10,021	20,032	160,151	15,080	145,071	57,426
SB:KA=80:20 (2)	15,428	20,029	119,617	20,002	139,619	10,038	20,094	149,675	10,001	20,097	159,771	15,089	144,682	69,983
SB:KA=70:30 (2)	15,147	20,114	120,506	20,003	140,509	10,005	20,031	150,534	10,007	20,293	160,820	15,067	145,754	55,891
K1	15,099	20,004	119,827	20,007	139,834	10,007	20,114	149,941	10,006	20,004	159,939	15,030	144,909	44,715
K2	15,311	20,022	119,738	20,011	139,749	10,012	20,029	149,766	10,068	20,035	159,733	15,091	144,642	71,494
K3	15,147	20,149	120,091	20,005	140,096	10,008	20,063	150,151	10,006	20,005	160,151	15,084	145,067	69,278

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Tabel B.7. Data Pengukuran C dan N Material Awal Sampah Skala Pilot Tahap I

Jenis Reaktor	C-organik (%)	TKN (%)	Rasio C/N Awal
Replikasi 1	20,02	0,82	24,39
Replikasi 2	14,23	0,63	22,65

Tabel B.8 Data Penimbangan Residu Reaktor Skala Pilot Tahap II

No. Reaktor	Berat Residu (kg)		
	Sampah Buah	Sampah Campuran	Sampah Sisa Makanan
1	10,65	9,85	8,15
2	10,85	9,9	7,5
3	10,4	9,45	7,75
4	10,6	9,95	7,65
5	10,95	10,35	7,15
6	10,9	9,85	7,7
7	10,45	9,5	8
8	10,6	9,3	7,2

No. Reaktor	Berat Residu (kg)		
	Sampah Buah	Sampah Campuran	Sampah Sisa Makanan
9	11	9,4	8,1
10	11	9,7	7,2
11	10,8	9,7	7,3
12	10,8	9,4	7,3
Total	128,9	116,3	90,9

Analisis Statistik Pengaruh Rasio Komposisi Makanan Terhadap Persentase Reduksi

Descriptives

Persentase_reduksi

					95% Confidence Interval for			
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	2	73,7672	5,99421	4,23855	19,9113	127,6230	69,53	78,01
2	2	72,0686	1,07332	,75895	62,4252	81,7119	71,31	72,83
3	2	82,8717	3,50011	2,47495	51,4245	114,3190	80,40	85,35
4	2	62,0886	2,36654	1,67340	40,8260	83,3512	60,42	63,76
5	2	62,0322	14,71086	10,40215	-70,1397	194,2040	51,63	72,43
6	2	61,8186	,23335	,16500	59,7221	63,9151	61,65	61,98
Total	12	69,1078	9,61143	2,77458	63,0010	75,2146	51,63	85,35

ANOVA

Persentase_reduksi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	744,777	5	148,955	3,293	,049
Within Groups	271,398	6	45,233		
Total	1016,174	11			

Analisis Statistik Pengaruh Rasio Komposisi Makanan Terhadap Penambahan Berat Larva

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Penambahan_berat_larva_hari_0	1	2	,0937	,01223	,00865	-,0163	,2036	,08	,10
	2	2	,1230	,03012	,02130	-,1476	,3936	,10	,14
	3	2	,0996	,02701	,01910	-,1431	,3423	,08	,12
	4	2	,0892	,02185	,01545	-,1072	,2855	,07	,10
	5	2	,1216	,02878	,02035	-,1369	,3802	,10	,14
	6	2	,0799	,01471	,01040	-,0522	,2120	,07	,09
	Total	12	,1012	,02414	,00697	,0858	,1165	,07	,14
Penambahan_berat_larva_hari_3	1	2	,5798	,05706	,04035	,0672	1,0925	,54	,62
	2	2	,6040	,04469	,03160	,2025	1,0055	,57	,64
	3	2	,6059	,09150	,06470	-,2162	1,4280	,54	,67
	4	2	,3402	,01379	,00975	,2164	,4641	,33	,35
	5	2	,2612	,06180	,04370	-,2941	,8165	,22	,30
	6	2	,3617	,10423	,07370	-,5747	1,2981	,29	,44
	Total	12	,4588	,15618	,04508	,3596	,5580	,22	,67
Penambahan_berat_larva_hari_6	1	2	,6435	,01492	,01055	,5094	,7775	,63	,65

Descriptives								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
	2	,9821	,07128	,05040	,3417	1,6225	,93	1,03
	3	1,0738	,11724	,08290	,0205	2,1271	,99	1,16
	4	,6986	,00495	,00350	,6541	,7431	,70	,70
	5	,7768	,00262	,00185	,7533	,8004	,78	,78
	6	,8398	,31516	,22285	-1,9918	3,6713	,62	1,06
Total	12	,8358	,18905	,05457	,7156	,9559	,62	1,16
Penambahan_berat_larva_hari_9	1	1,4568	,40609	,28715	-2,1918	5,1053	1,17	1,74
	2	1,6343	,55861	,39500	-3,3847	6,6533	1,24	2,03
	3	1,6815	,16377	,11580	,2101	3,1529	1,57	1,80
	4	1,3818	,07446	,05265	,7129	2,0508	1,33	1,43
	5	1,4344	,00382	,00270	1,4001	1,4687	1,43	1,44
	6	1,4927	,22302	,15770	-,5111	3,4965	1,34	1,65
Total	12	1,5136	,25212	,07278	1,3534	1,6738	1,17	2,03
Penambahan_berat_larva_hari_12	1	2,1872	,01322	,00935	2,0683	2,3060	2,18	2,20
	2	2,8819	,51492	,36410	-1,7444	7,5082	2,52	3,25
	3	2,5411	,15938	,11270	1,1091	3,9731	2,43	2,65

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
	4	2	1,8507	,19502	,13790	,0985	3,6029	1,71	1,99
	5	2	1,8521	,09065	,06410	1,0376	2,6666	1,79	1,92
	6	2	1,8159	,25413	,17970	-,4674	4,0992	1,64	2,00
	Total	12	2,1881	,46162	,13326	1,8948	2,4814	1,64	3,25
Penambahan_berat_larva_hari_14	1	2	2,6132	,29720	,21015	-,0570	5,2835	2,40	2,82
	2	2	2,9664	,73072	,51670	-3,5989	9,5317	2,45	3,48
	3	2	2,5996	,19014	,13445	,8913	4,3080	2,47	2,73
	4	2	2,3814	,34245	,24215	-,6955	5,4582	2,14	2,62
	5	2	2,2049	,13336	,09430	1,0067	3,4031	2,11	2,30
	6	2	2,7358	,52743	,37295	-2,0029	7,4746	2,36	3,11
	Total	12	2,5836	,40249	,11619	2,3278	2,8393	2,11	3,48

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Penambahan_berat_larva_hari_0	Between Groups	,003	5	,001	1,126	,437

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Within Groups	,003	6	,001		
	Total	,006	11			
Penambahan_berat_larva_hari_3	Between Groups	,240	5	,048	10,098	,007
	Within Groups	,028	6	,005		
	Total	,268	11			
Penambahan_berat_larva_hari_6	Between Groups	,275	5	,055	2,784	,022
	Within Groups	,118	6	,020		
	Total	,393	11			
Penambahan_berat_larva_hari_9	Between Groups	,140	5	,028	,301	,046
	Within Groups	,559	6	,093		
	Total	,699	11			
Penambahan_berat_larva_hari_12	Between Groups	1,942	5	,388	5,805	,027
	Within Groups	,402	6	,067		
	Total	2,344	11			
Penambahan_berat_larva_hari_14	Between Groups	,710	5	,142	,795	,050
	Within Groups	1,072	6	,179		
	Total	1,782	11			

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN C DOKUMENTASI

Penelitian Skala Laboratorium



Persiapan Sampel



Peletakkan Reaktor



Reaktor Kontrol



Reaktor Campuran
Sisa Makanan



Reaktor Campuran
Kotoran Ayam

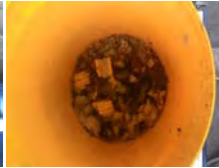


Hasil Pemanenan
Larva

Penelitian Skala Pilot



Persiapan Sampel



Feeding Larva



Penyusunan Reaktor



Pengambilan Sampel



Tempat Pemanenan



Proses Pemanenan



Proses Pemanenan



Hasil Pemanenan
Larva dari Sampah Buah

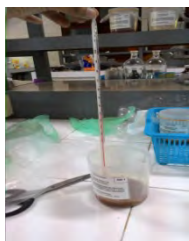


Hasil Pemanenan
Larva dari Sampah Campuran



Hasil Pemanenan
Larva dari Sampah Sisa Makanan

Analisis Laboratorium



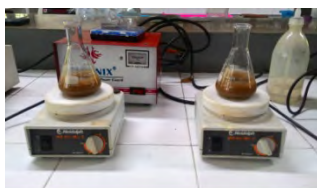
Pengukuran Suhu



Analisis Kadar Air



Analisis TKN



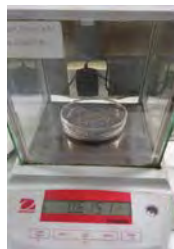
Shaker Larutan Sampel



Pengukuran pH



Analisis C



Pengukuran Berat

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain.

1. Persentase reduksi dan penambahan berat terbesar pada campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 dengan persentase reduksi 82,87% dan penambahan berat hingga 52 kali dari berat awal.
2. Larva pada campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 memiliki kandungan protein sebesar 41,49%.
3. Persentase reduksi sampah campuran sampah buah dan sisa makanan 70:30 dalam skala pilot tahap I mencapai 48,14% dan penambahan berat larva hingga 70 kali dari berat awal dengan kandungan protein 32,76%. Sedangkan pada skala pilot tahap II persentase reduksi sampah mencapai 57,3% dan penambahan berat larva 45 kali dari berat awal dengan kandungan protein 42,64%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah.

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kandungan nutrisi pada jenis sampah yang akan digunakan untuk *feeding* agar dapat diketahui pengaruh nutrisi makanan terhadap perubahan fase larva menjadi prapupa.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan larva dengan spesies berbeda sesuai dengan habitat yang ada di lingkungan sekitar untuk membandingkan persentase reduksi yang dihasilkan.
3. Apabila dilakukan penelitian lanjutan, hendaknya dengan desain reaktor yang lebih baik agar menampung larva yang berjatuhan dari reaktor. Sehingga jumlah larva dalam reaktor tetap dan terhitung.
4. Perlu dilakukan pengaplikasian lanjutan dari penelitian ini untuk skala rumah tangga maupun komunal.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis** (15th ed.). Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- Alvarez, L. 2012. **A Dissertation: The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera Stratiomyidae) in Sustainable Management in Nothern Climates.** Canada: University of Windsor.
- Artiningsih, N. 2008. **Thesis: Peran Serta Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga.** Semarang: Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Bautista, J.M., Kim, H., Ahn, D.H., Zhang, R., dan Oh, Y.S. 2011. "Changes in Physicochemical Properties and Gaseous Emissions of Composting Swine Manure Amended With Alum and Zeolite". **Korean J. Chem. Eng.**, 28:189-194.
- Diener, S. 2010. **A Dissertation : Valorisation of Organik Solid Waste Using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, in Low and Middle-Income Countries.** Swiss: ETH Zurich.
- Garg, V. K. dan Gupta, R. 2011. "Optimization of Cow Dung Spiked Pre-Consumer Processing Vegetable Waste for Vermicomposting Using *Eisenia fetida*". **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, 74, 19-24.
- Goddard, J. 2003. **Physician's Guide to Arthropods of Medical Importance.** Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Hall D.C. dan Gerhardt R.R. 2002. "Flies (*Diptera*)". **Medical and Veterinary Entomology**: pp. 127-161.
- Hogsette, F. dan Borzanyi, L. 2000. "Development of *Hydrotaea aenescens* and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in Poultry and Pig Manure of Different Moisture Content". **Environ and Entomol**, 27:695-699.
- Joseph, W. dan Phillip, E. 2009. **Black Soldier Fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae).** Florida: EENY 461 University of Florida.
- Katayane F.A., Bagau B., Wolayan F.R., dan Imbar M.R. 2014. "Produksi dan Kandungan Protein Manggot (*Hermetia illucens*) dengan Menggunakan Media Tumbuh Berbeda". **Jurnal ZooteK**, 34:27-36.

- Lord, W. D., Goff, M. L., dan Adkins, T. R., "The Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) As a Potential Measure of Human Postmortem Interval: Observations and Case Histories," **Journal of Forensic Sciences**, JFSCA, Vol. 39, No. 1, January 1994, pp. 215-222.
- Manios, T. 2004. "The Composting Potential of Different Organic Solid Wastes: Experience from the Island of Crete". **Environ Int.**, 29:1079–1089.
- Mulyadi, A. 2008. **Karakteristik Kompos dari Bahan Tanaman Kaliandra, Jerami Padi dan Sampah Sayuran**. Bogor: Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Murbandono, H. S. L. 2002. **Membuat Kompos**. Jakarta: Penebar Swadaya.
- NCIPMI. 1998. **Insect and Related Pests of Man and Animals. North Carolina Integrated Pest Management Information**,
<URL:http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/black_soldier_fly.html>.
- Newton, G.L., Sheppard, D.C., Watson, D.W., Burtle, G.J., Dove, C.R., Tomberlin, J.K., dan Thelen, E.E. Jan. 2005. "The Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a Manure Management/Resource Recovery Tool". **Journal of the Science, Animal Manure and Waste Management**: 5-7.
- Nurlovi. 2004. **Viabilitas Benih Pepaya (*Carica pepaya* L.) Beberapa Tingkat Kadar Air Awal Selama Penyimpanan**. Bogor: IPB.
- Popa, R. dan Green, T. 2012. **Diptera LCC e-Book 'Black Soldier Fly Applications'**. Lake Oswego: OR 97034.
- Rachmawati, Buchori D., Hidayat P., Hem S., dan Fahmi M.R. 2008. "Perkembangan dan Kandungan Nutrisi Larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit". **J. Entomol. Indon** 7, 1:28-41.
- Rynk, R., Wilson, G.B., Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., dan Gouin, F.R. 1992. **On-Farm Composting Handbook**. New York: NRAES-54.
- Saragi, E. 2015. **Pemanfaatan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) sebagai Salah Satu Upaya**

- Reduksi Sampah Daerah Perkotaan.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Sebek, L.B.J. dan Temme. 2009. "Human Protein Requirements and Protein Intake and the Conversion of Vegetable Protein into Animal Protein". **Animal Science Report**: 232.
- Sheppard, D.C., Newton, G.L., Thompson, S.A., dan Savage, S. 1995. "A Value Added Manure Management System Using The Black Soldier Fly". **Bioresource Technology**, 50: 275-279.
- Sheppard, D.C., Tomberlin, J.K., Joyce, J.A., Kiser, B.C., dan Sumner SM. 2002. "Rearing Methods For The Black Soldier Fly (*Diptera: Stratiomyidae*)". **Journal of Medical Entomology**, 39 (4): 1-4.
- Sipayung, P. 2015. **Pemanfaatan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Sebagai Salah Satu Upaya Reduksi Sampah Daerah Perkotaan.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- SNI 01-2354.4-2006. **Cara Uji Kimia-Bagian 4: Penentuan Kandungan protein dengan Metode Total Nitrogen pada Produk Perikanan.**
- SNI 19-7030-2004. **Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.**
- Soon-Ik, P., Jong-Wan, K., dan Sung Moon, Y. 2015. "Purification and Characterization of a Novel Antibacterial Peptide from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae". **Developmental and Comparative Immunology**, 52:98–106.
- Subali, B. dan Slinawati. 2010. "Pengomposan Terhadap Rasio Unsur C/N dan Jumlah Kadar Air dalam Kompos". **Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY. Semarang**: 49-53.
- Sulistyawati, E., Mashita, N., dan Choesin, D.N. 2008. "Pengaruh Agen Dekomposer Terhadap Kualitas Hasil Pengomposan Sampah Organik Rumah Tangga". **Presentasi Seminar Nasional Penelitian Lingkungan Universitas Trisakti Jakarta.**
- Surtinah. Aug. 2013. "Pengujian Kandungan Unsur Hara dalam Kompos yang Berasal dari Serasah Tanaman Jagung

- Manis (*Zea mays saccharata*)". **Jurnal Ilmiah Pertanian**, 11: 1.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S. 1993. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. Singapore: Mc Graw-Hill, Inc.
- Thom, O. W. dan Utomo, M. 1991. **Manajemen Laboratorium dan Metode Analisis Tanah dan Tanaman**. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Tomberlin, J.K., Adler, P.H., dan Myers, H.M. 2009. "Development of the Black Soldier Fly (*Diptera: Stratiomyidae*) in Relation to Temperature". **Environmental Entomology**, 38 (3):930-934.
- Widodo, E., Allama, H., Sofyan, O., dan Prayogi, H.S. 2008. "Pengaruh Penggunaan Tepung Ulat Kandang (*Alphitobius diaperinus*) dalam Pakan Terhadap Penampilan Produksi Ayam Pedaging". **Jurnal Ilmu Ilmu Peternakan**, 22 (3):1-8.
- Yuwono, T. 2005. **Kompos**. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Zakova, M. dan Borkovcova, M. 2013. "Comparison of Field and Lab Application of *Hermetia illucens* Larvae". **Journal Mendelnet Department of Zoology, Fisheries, Hydrobiology and Apiculture, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemedelska**, 1: 613 00 Brno.
- Zheng, L., Li, Q., Zhang, J., dan Yu, Z. 2011. "Double the Biodiesel Yield: Rearing Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens*, on Solid Residual Fraction of Restaurant Waste After Grease Extraction for Biodiesel Production". **Renew Energy**, 41:75e9.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putri Jember yang lahir pada 20 tahun yang lalu. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2002-2008 di SDN Kepatihan 1 Jember. Kemudian dilanjutkan di SMPN 2 Jember pada tahun 2008-2010, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Jember dari tahun 2010-2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2012 dan terdaftar dengan

NRP 3312100078.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitian di berbagai kegiatan di jurusan maupun fakultas dan aktif sebagai asisten praktikum. Selain itu, beberapa kegiatan sosial di luar kampus penulis ikuti. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Divisi Kominfo KPPL pada tahun 2014/2015. Berbagai pelatihan dan seminar di bidang Teknik Lingkungan telah banyak diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email tifani.mahardika@gmail.com.